

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Využití solární energie
Utilisation of solar energy

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Rastočný**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Využití solární energie**
Utilisation of solar energy

Zásady pro vypracování:

1. Energie ze Slunce
2. Přeměna slunečního záření na elektřinu a teplo
3. Ostrovní „off-grid“ solární systémy
4. „On-grid“ solární systémy připojené do distribuční sítě

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Bartoš, V.: Obnovitelné zdroje energií, Grada Publishing, Praha, 2010
2. Murtinger, K.: Fotovoltaika : elektrická energie ze slunce, Praha, 2009
3. Ladener, H.: Solární zařízení, Grada Publishing, Praha, 2003
4. Lepík, P.: Fotovoltaické systémy a jejich aplikace, Bak.práce, Ostrava, 2010
5. Smejkal, A.: Výroba elektrické energie ze Slunce. Zásobování rodinného domu elektřinou ze Slunce, Dip.práce, Ostrava, 2006
6. Schmeister, T.: Návrh a provoz malé fotovoltaické elektrárny, Dip.práce, Ostrava, 2010
7. Stuchlý, J.: Průzkum trhu - fotovoltaické systémy, Bak.práce, Ostrava, 2009


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

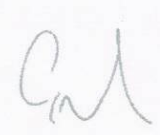
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



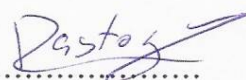

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 2. 5. 2011

Podpis.....

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, připomínky a cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá využitím solární energie pro výrobu elektřiny a je zde také popsána přeměna slunečního záření na teplo.

První část je zaměřená na globální popis energie získané ze Slunce, tedy Slunce jako zdroj energie, faktory ovlivňující zisk, výhody, nevýhody a využití této energie.

Druhá část je již zaměřena přímo na přeměnu slunečního záření na elektřinu a teplo. V této části jsou uvedeny základní principy obou přeměn.

Třetí část bakalářské práce se podrobněji zabývá ostrovním solárním systémem, tzv. „off-grid“, jeho typy a nejdůležitějšími částmi, kterými jsou solární panel, akumulátor a regulátor nabíjení.

Čtvrtá část je věnována tzv. „on-grid“ systému, tedy solárnímu systému připojenému do distribuční sítě, popisu důležitých částí a hlavně potřebné legislativě. Rovněž je zde zmínka o vývoji výkupních cen.

Poslední část se zabývá praktickým vyhodnocením zpětných vlivů FVE již uvedené v provozu.

Abstract

This desertation considers the usage of solar energy for electricity generation and also the transformation of solar energy to heat.

Part one is about global description of energy gained from the sun, therefore sun as an energy source, the factors affecting the gains, advantages and disadvantages of this energy.

Second part concentrates on the transformation of solar radiation to electricity and heat, then the basic principals of both transformations are explained.

Third part consists of a detailed description of island solar system known as „off grid“, its types and the most important parts such as the solar panel, accumulator and charging regulator.

Next part is dedicated to the „on grid“ system, which is a solar system connected into the distribution web, the description of the most important parts and especially the necessary legislation. Also the development of redemption prices are mentioned.

Lastly we will learn about practical evaluation of reverse effects of operating photovoltaic factory.

Klíčová slova

Slunce, energie, elektřina, teplo, fotovoltaický panel, solární článek, distribuční síť, elektrárna, flickr, fotovoltaická elektrárna

Key Words

Sun, energy, electrcity, warm, photovoltaic panel, solar photovoltaic cell, distribution network, power station, flicker, photovoltaic power station

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC		Střídavé napětí
atd.		a tak dále
c	[km/s]	rychlost světla
C _D	[%]	hloubka povoleného vybití baterie (%kapacity)
CO ₂		oxid uhličitý
C _R	[Ah]	kapacita baterie
DC		Stejnoseměrné napětí
DG		Distribuovaný generátor
DS		Distribuční soustava
DTS		Distribuční trafostanice
E	[J]	Energie
E _{AUX}	[J]	doplňková nabíjecí kapacita z doplňkových fotovol. panelů
E _D	[J]	Energie potřebná na provoz spotřebičů během slunečného dne
E _N	[J]	Energie potřebná k nabití akumulátoru
E _R	[J]	celková energie dodávaná do baterie během dnu bez slun. svitu
ERÚ		Energetický regulační úřad
ES		Elektrizační soustava
E _{SA}	[J]	Energie spotřebovaná solárním systémem za 1 den
EVA		ethylen-vinyl acetátový kopolymer
FVE		Fotovoltaická elektrárna
HDO		Hromadné dálkové ovládání
K _D		navrhovaná rezerva
k _{kl}	[-]	zkratový poměr výkonů
m	[kg]	hmotnost
např.		například
N _B	[-]	počet baterií zapojených paralelně.
NO _x		oxid dusíku
nn		nízké napětí
obr.		obrázek
off-grid		Ostrovní solární systém
on-grid		Solární systém připojený do distribuční sítě
PC		Počítač
P _{DL}	[W]	střední zatížení elektrického vedení během dne
PDS		Provozovatel distribuční soustavy
P _{NL}	[W]	střední zatížení elektrického vedení během noci
PPDS		Pravidla provozu distribučních soustav
P _{SA}	[W]	střední výkon solárního pole během dne potřebný pro aplikaci
P _{SAR}	[W]	stř. výkon během doby τ_{DR} pot. pro plné nabití bat. o kap. ER
P _{st}		krátkodobá míra vjemu
P _{lt}		dlouhodobá míra vjemu
S _{kV}	[VA]	zkratový poměr v připojeném bodě
SO ₂		oxid siřičitý
S _{SAmax}	[VA]	suma max. zdánlivých výkonů všech připojených výroben
tab.		Tabulka
THD		činitel celkového harmonického zkreslení
tzv.		takzvaně
U _B	[V]	střední napětí baterie
U _c	[V]	dohodnuté napájecí napětí
U _n	[V]	jmenovité napětí

UV		Ultrafialové
VTE		Větrná elektrárna
v_n		vysoké napětí
η_B	[-]	účinnost baterie
η_D	[-]	účinnost blokovacích diod
η_{Deg}	[-]	celkové snížení výkonu solárního pole v daném čase
η_R	[-]	účinnost měniče
η_{W1}	[-]	ztráty ve vedení mezi solárním polem a nabíječem
η_{W2}	[-]	ztráty ve vedení z regulátoru
η_{W3}	[-]	ztráty ve vedení mezi regulátorem a baterií
τ_D	[s]	délka dne
τ_{DR}	[s]	doba plného slunečního svitu potřebná k plnému dobití baterie.
τ_N	[s]	délka noci
τ_{NR}	[s]	celková doba vybíjení baterie během dnů bez slunečního svitu

Obsah

1. Úvod	1
2. Energie ze Slunce	2
2.1. Slunce - zdroj energie	2
2.2. Faktory pro zisk a využití energie	3
2.2.1. Zeměpisná šířka	3
2.2.2. Roční doba	3
2.2.3. Místní klima, oblačnost	4
2.2.4. Sklon a orientace plochy, na niž sluneční záření dopadá	4
2.2.5. Lokalita	5
2.3. Využití solární energie	6
2.4. Výhody a nevýhody solární energie	7
2.4.1. Výhody solární energie	7
2.4.2. Nevýhody solární energie	7
3. Přeměna slunečního záření na elektřinu a teplo	7
3.1. Přeměna energie	7
3.2. Přeměna slunečního záření na teplo	7
3.2.1. Pasivní systémy	7
3.2.2. Aktivní systémy	8
3.2.3. Vytápěcí systém s vzduchovými kolektory	9
3.2.4. Vytápěcí systém s kapalinovými kolektory	10
3.2.5. Dimenzování	11
3.3. Přeměna slunečního záření na elektřinu	12
3.3.1. Solární články (Základní část zařízení)	12
3.3.2. Základní typy fotovoltaických článků	13
3.3.3. Fotovoltaické panely	14
3.3.4. Rozdělení fotovoltaických systémů	14
3.3.5. Dimenzování	15
4. Ostrovní solární systémy „off-grid“	16
4.1. Rozdělení solárních systémů „off-grid“	16
4.2. Energetická rovnováha solárních systémů	17
4.3. Části ostrovního solárního systému	18
4.3.1. Fotovoltaické panely	18
4.3.2. Akumulátory	18
4.3.3. Regulátory nabíjení	19
4.4. Přenosné a kapesní aplikace	20
5. Solární systémy připojené do distribuční sítě „On-grid“	20
5.1. Střídač	21
5.2. Legislativa ve fotovoltaice	22
5.2.1. Co je potřeba zařídit před uvedením FVE do provozu	22
5.2.2. Legislativní rámec pro výstavbu nových FVE	22
5.3. Geomorfologické a meteorologické podmínky pro výstavbu FVE v ČR	22
5.4. Podmínky pro připojení FVE do Distribuční sítě	23
5.4.1. Kmitočet sítě	23
5.4.2. Velikost napájecího napětí	23
5.4.3. Odchylka napájecího napětí	23
Změny napětí při spínání:	24
5.4.4. Rychlá změna napětí	24
5.4.5. Krátkodobé poklesy napájecího napětí	25
5.4.6. Krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí	25
5.4.7. Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí	25
5.4.8. Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí	26

5.4.9.	Nesymetrie napájecího napětí	26
5.4.10.	Harmonická napětí	26
5.4.11.	Meziharmonická napětí	27
5.4.12.	Ovlivnění zařízení HDO	27
5.5.	Cenová rozhodnutí	28
5.5.1.	Zelený bonus	29
5.6.	Změna vývoje FVE připojených na DS od roku 2005 do roku 2011	29
5.6.1.	Bilanční limity	30
6.	Posouzení vlivů FVE již zapojené do DS	31
6.1.	Popis FVE	31
6.1.1.	Popis použitých FV panelů	31
6.1.2.	Popis použitých invertorů	32
6.2.	Měření a vyhodnocení naměřených parametrů FVE	33
6.2.1.	Celkový činný výkon FVE	33
6.2.2.	Velikosti a odchylky napájecích napětí jednotlivých fází FVE	34
6.2.3.	Nesymetrie napětí FVE	34
6.2.4.	Míra vjemu flikru FVE	35
6.2.5.	Harmonická napětí FVE	37
6.3.	Shrnutí měřených a řešených parametrů FVE	38
7.	Závěr	39
8.	Použitá literatura	40

1. Úvod

Za solární energii označujeme energii proudící od Slunce na naši planetu.. Abychom mohli tento zdroj energie dále produktivně využít, musíme o ní vědět alespoň pár základních informací. Proto je první a neméně důležitou součástí této práce část, která nese název „Energie ze Slunce“. Zde se dozvíme základní informace jako jsou například faktory ovlivňující využití solární energie, ale i výhody a nevýhody této energie.

Další oddíl je zaměřen již na samotnou přeměnu slunečního záření na elektřinu a teplo. Přeměna slunečního záření na teplo lze buď aktivním nebo pasivním systémem. Základními částmi jsou vzduchové nebo kapalinové kolektory. O tomto, ale i více se dočtete v kapitole věnované této přeměně energie, avšak informace jsou u této problematiky pojaty „okrajově“. Na rozdíl od přeměny energie na teplo je přeměna energie na elektřinu popsána od základního prvku, což je solární článek, přes základní typy článků, celé fotovoltaické panely až k dimenzování, u kterého zjistíme, jak je důležitá už první část této práce.

Po seznámení s přeměnou sluneční energie na elektřinu je text zaměřen na ostrovní systém „off-grid“, což je vlastně solární systém vytvářející elektřinu, ale není připojen na distribuční síť, tedy je jen pro vlastní využití. Jako takový musí mít různé prvky, které jsou také popsány v dané kapitole.

Následující část této práce je popis a vše spojené se solárním systémem „on-grid“. Tento systém je připojen na distribuční síť, a proto musí kromě jiného splňovat normy a legislativu s tím spojenou. O těchto faktech, zpětných vlivech a dalším pojednává tato kapitola, ke které se vztahuje praktická část.

V poslední části, kterou je praktická, je vyhodnocena konkrétní fotovoltaická elektrárna připojená na distribuční síť. Respektive její zpětný vliv a zhodnocení, zda vyhovuje daným předpisům.

2. Energie ze Slunce

2.1. Slunce - zdroj energie

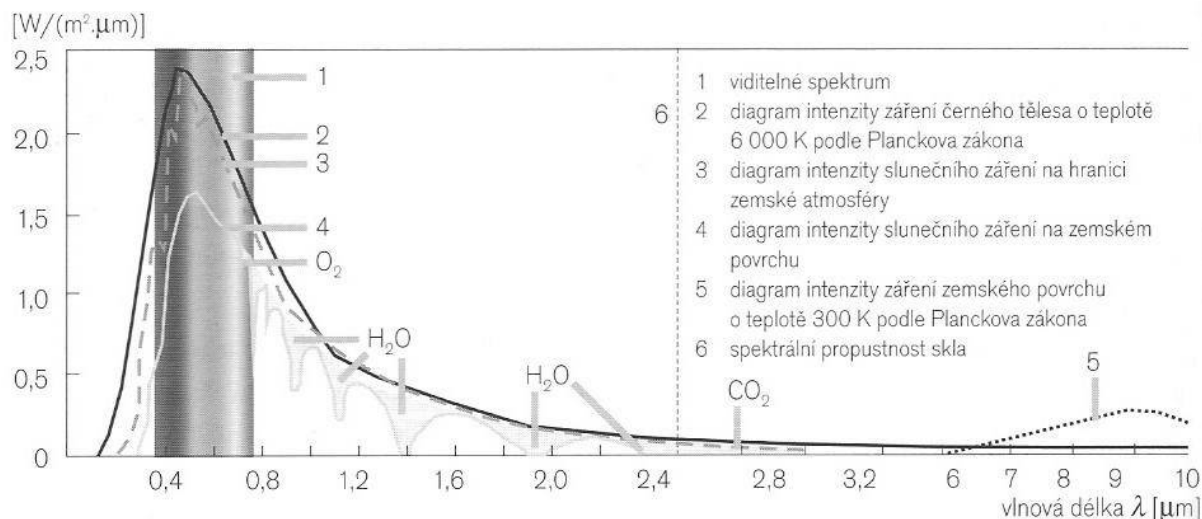
Primárním zdrojem energie ve Slunci je jaderná fúze, tj. spojování jader vodíku za vzniku helia (a posléze dalších těžších prvků). [1] Ve Slunci se každou sekundu přemění 600 milionů tun vodíku na helium. Hmotnost do reakce vstupujícího vodíku je větší než hmotnost vzniklého helia. Rozdíl těchto hmotností se podle Einsteinova vztahu $E = m \cdot c^2$ dá přepočítat na energii. Slunce tedy každou sekundou uvolní $3,8 \cdot 10^{26}$ J energie díky úbytku 4,26 milionu tun hmoty. Slunce je ve stabilním stádiu svého vývoje a ještě přibližně 5 miliard let bude.

Teplota slunečního povrchu je přibližně 5900 K. Energie uvolněná termionukleárními reakcemi je ze Slunce na Zemi „dopravována“ ve formě elektromagnetického záření.

Solární konstanta je hustota dopadající solární energie na hranici zemské atmosféry a její hodnota je přibližně $1,4 \text{ kW/m}^2$. Na povrch země tedy celkem dopadá zářivý výkon 180 000 TW ($1,8 \cdot 10^{17}$ W). Spotřeba energie celé naší civilizace je asi pouhých 10 TW, tj.: energie z uhlí, zemního plynu, nafty, z jaderných elektráren, biomasy i energie obsažená v potravě. Množství poskytované solární energie je tedy více než dostatečné, aby mohlo nahradit všechny ostatní zdroje.

Větší část dopadající energie je ovšem při průchodu atmosférou odražena či pohlcena a na zemský povrch tedy dopadá méně než 1 kW při slunečním svitu a jen desítky wattů při zatažené obloze. Po průchodu slunečního záření atmosférou je jeho spektrum pozměněno a ochuzeno o některá pásma. Veškerému slunečnímu záření přicházejícímu na zemský povrch říkáme globální záření. Globální záření zahrnuje záření všech vlnových délek přicházející ze všech směrů, pouze rozlišujeme záření přímé a záření difúzní (rozptýlové) při praktickém měření intenzity slunečního záření. Při zatažené obloze se jedná o difúzní záření.“

Na níže uvedeném obr.1 vidíme změny spektra slunečního záření po průchodu atmosférou a také je na něm vymezena ta část spektra, která prochází sklem. Je patrné, že sklem neprochází tepelné a UV záření . [4]



Obr.2.1.1 Spektrum slunečního záření při vstupu do atmosféry a na zemském povrchu ¹

¹ Zdroj: MURTINGER K., BERANOVSKÝ J., TOMEŠ M., Fotovoltaika. Elektrina ze slunce. 2.vyd., str. 2

Většina dopadající sluneční energie na povrch atmosféry a pronikající k zemskému povrchu se vyzáří zpět do vesmíru jednak ve formě krátkovlnného záření (přibližně 30 %), jednak ve formě dlouhovlnného záření, tedy tepla (47 %).

Spektrální rozsah slunečního záření je 30 – 3000 nm, ale většina sluneční energie přichází v oblasti viditelného záření. Energetické maximum je okolo vlnové délky 500 nm. Vlnové délky nižší než 300 nm připadají UV záření. [4]

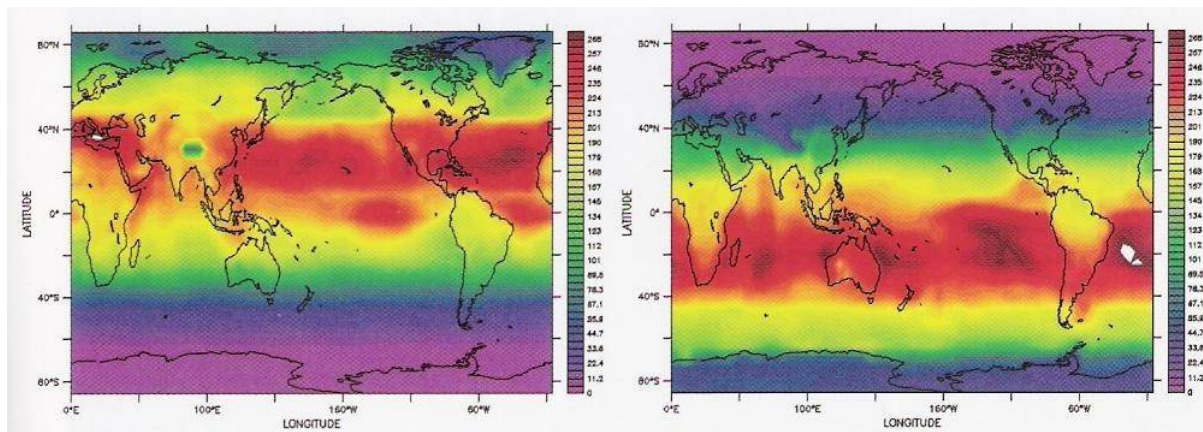
Nejvýznamnější oblast záření je pro nás přibližně 400 – 650nm, jelikož záření těchto vlnových délek je pro naše oči viditelné. V této oblasti vlnových délek dopadá na Zemi největší množství energie (asi $\frac{3}{4}$). Energeticky významné je ještě infračervené záření v oblasti 650 – 2000 nm. Naproti tomu je většina ultrafialového záření, tedy hlavně oblast pod 280nm, pohlcena ozónem ve stratosféře a na povrch země se nedostane podobně jako atmosférou zadržované dlouhovlnné infračervené záření (asi nad 3000 nm). [5]

2.2. Faktory pro zisk a využití energie

Jestliže využíváme solární energii ve vesmíru, tak není žádný problém s její spolehlivostí a dostupností. Například pro výrobu elektrické energie na družicích dopadne na 1 m² solárních panelů 1,37 kW, což při obvyklé účinnosti 15 % představuje elektrický výkon 200 W. Jinak je to ovšem s dostupností na povrchu země. Solární energie je na Zemi sice dostupná všude, ale jsou zde velké rozdíly mezi jednotlivými lokalitami. Kolik lze získat energie ze slunečního záření záleží na těchto faktorech: [5]

2.2.1. Zeměpisná šířka

Nejmenší množství slunečního záření dopadá na Zemi u pólů a největší množství dopadá na rovník. To lze vidět na níže uvedeném Obr.2.2.1.1 [5]



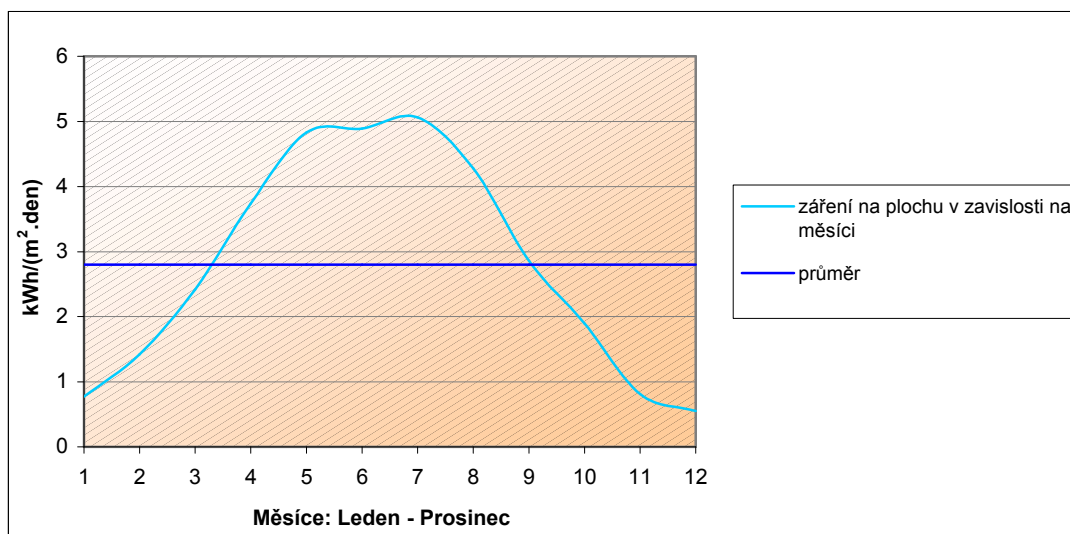
Obr.2.2.1.1 Mapa průměrné intenzity slunečního záření dopadajícího na povrch země v létě a v zimě ²

2.2.2. Roční doba

Sluneční záření se v průběhu roku velice mění. V zimě je Slunce na obloze velice nízko a den o dost kratší než v létě. Dále se v zimě častěji vyskytují oblačnosti, které výrazně omezují energetický zisk solárních zařízení. V letním období dopadne na 1m² plochy orientované na jih 7 – 8 kWh za

² Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 99

jasného dne a přibližně 2 kWh při oblačném počasí. Kdežto v zimě při slunečném počasí 3 kWh a při oblačném méně než 0,3 kWh. Toto je patrné i z níže uvedeného obrázku. [5]



Obr.2.2.2.1 Sluneční záření dopadající v Praze v průběhu roku na vodorovnou plochu³

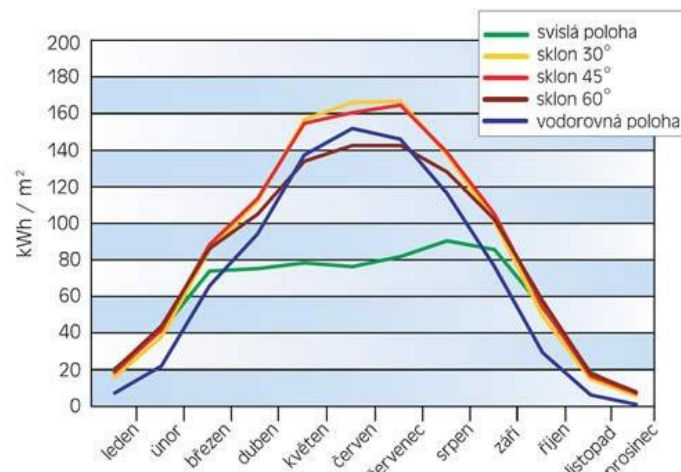
2.2.3. Místní klima, oblačnost

Při průchodu slunečního záření zemskou atmosférou je část záření pohlcena a část odražena. Zásadní vliv na to mají mraky, znečištění atmosféry a některé lokální vlivy, jako je např. výskyt přízemní mlhy. Za jasné oblohy dopadá na povrch Země přibližně 75 % záření, tj. asi 1 kW/m², při zatažené obloze je to pod 15 %, tj. méně než 200 W/m². Oblačnost také kromě toho způsobuje rozptýlení dopadajícího slunečního záření, což následně u některých solárních systémů (např. systémy s Fresnelovými čočkami) snižuje využitelnost. Jelikož oblačnost nelze předpovědět na delší dobu, používají se pro výpočty dostupnosti solárního záření průměrné hodnoty zpravidla za 50 let.[5]

2.2.4. Sklon a orientace plochy, na niž sluneční záření dopadá

Největší (maximální) výkon ze slunečního záření získáme na ploše, která je kolmá k dopadajícím paprskům ze Slunce. Proto je neoptimálnější natáčet zařízení za Sluncem tak, aby paprsky mohly dopadat stále kolmo. Toto se v praxi často neprovádí, je to nákladné a těžkopádné. Zpravidla se fotovoltaické články nebo solární kolektory osazují směrem k jihu a pod úhlem 45°, což zaručuje dobrý celoroční zisk. Pokud chceme zvýšit zisk, tak v letním období použijeme sklon kolem 30° a v zimním období sklon kolem 60°. Na obr.2.2.4.1 je vidět teoretické množství solární energie dopadající v jednotlivých měsících na jižně orientovanou plochu v závislosti na jejím sklonu.[5]

³ Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 8



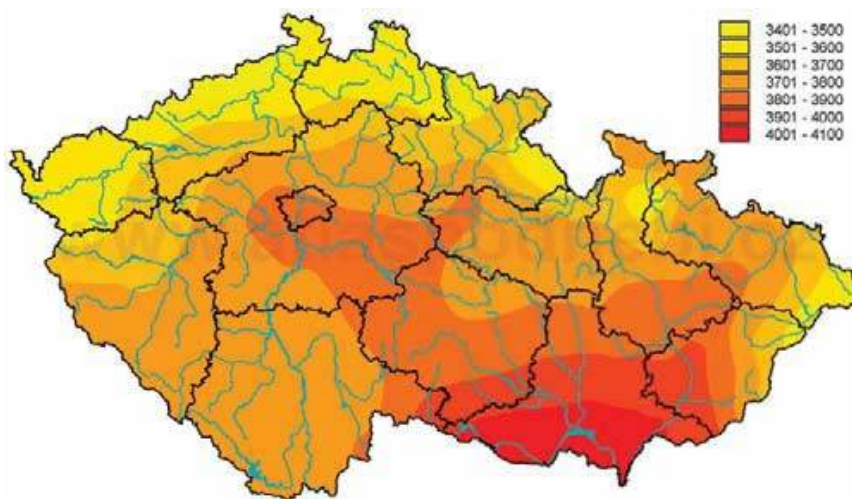
Obr.2.2.4.1 Teoretické množství dopadající solární energie, závislost sklonu na měsíci (orientace na Jih)⁴

Možství energie získané v letní polovině roku je podstatně větší než množství získané v zimní polovině roku, a to bez ohledu na sklon dopadající plochy. [5]

Důležitá je při budování solárního systému orientace dopadající plochy na jih.

2.2.5. Lokalita

Abychom mohli příslušný solární systém správně dimenzovat a hlavně abychom mohli spočítat jeho návratnos (dobu, za jak dlouho se nám vrátí naše investice), tak je důležité znát celkové množství solární energie, která je k dispozici v určité lokalitě. K tomu nám slouží níže uvedený Obr.2.2.5.1, kde lze vidět, jak je v různých lokalitách ČR různé množství dopadajícího záření. [5]



Obr.2.2.5.1 Průměrné roční sumy záření MJ/m² ⁵

⁴ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>> [cit.2010-10-26]

⁵ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>> [cit.2010-10-26]

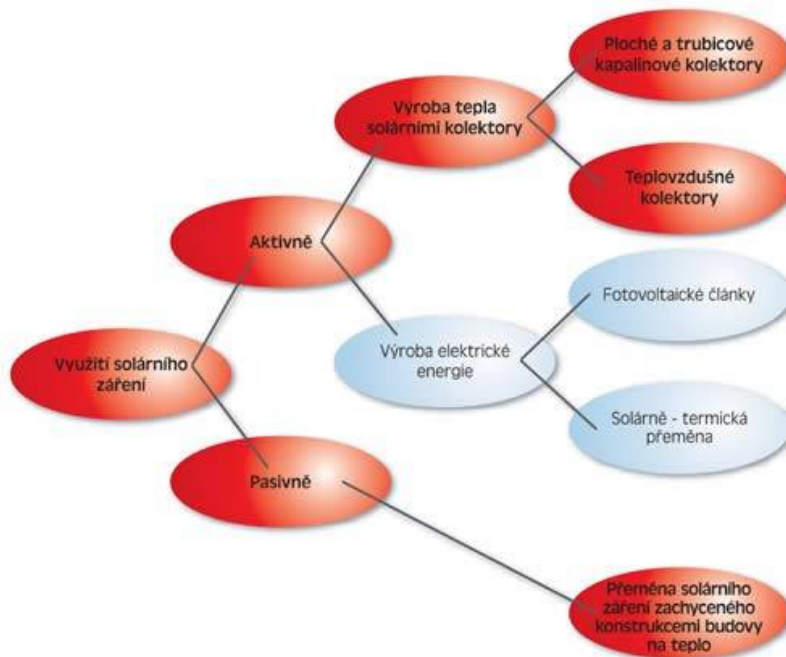
2.3. Využití solární energie

Po dobu více než 50 let rozvoje využití solární energie bylo poznáno mnoho zajímavých možností využití, přesto jen pár jich přešlo do praxe. Lze je rozdělit podle energetické přeměny do skupin:

- a) přeměna slunečního záření na teplo (termální systémy)
 - přeměna záření na teplo o nízké teplotě (do 100 °C) je velmi jednoduchá a využití najde například při ohřevu vody v bazénu, ohřevu užitkové vody, destilaci a dezinfekci vody, u tepelných motorů, apod.
- b) přeměna slunečního záření na elektrickou energii (termické, fotovoltaické systémy)
- c) přeměna slunečního záření na mechanickou nebo chemickou energii
 - sluneční záření dokáže štěpit vazby v chemických sloučeninách, proto ho lze využít např. k výrobě vodíku nebo k fotochemickým reakcím pro odbourání pesticidů v odpadních vodách.
- d) využití fotochemických účinků slunečního záření.

Je důležité zmínit, že přeměnit sluneční záření na „ušlechtilé“ formy energie (elektrická, mechanická, chemická) je mnohem složitější než přeměna na teplo. [5]

Na schématu pod textem vidíme, že lze rozdělit využití na aktivní a pasivní. Aktivní využití bude probráno v následující kapitole. Co se týče pasivního využití, tak to již využívá každý z nás, aniž by si to uvědomil.



Obr.2.3.1 Schéma rozdělení možností využití solární energie ⁶

⁶ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>> [cit.2010-10-26]

2.4. Výhody a nevýhody solární energie

2.4.1. Výhody solární energie

- Slunce je pro nás, dá se říct, nevyčerpatelným zdrojem energie
- Sluneční energie je zdarma, takže nízké provozní náklady
- Nenáročná obsluha
- Relativně dlouhá životnost zařízení (obvykle garantováno 15 – 20 let, poté snižování účinnosti, funkční až 50 let)
- Vyrobená energie pomocí slunečního záření může nahradit 20 – 50 % potřebného tepla k vytápění a 50 – 70 % potřebného tepla k ohřevu vody v domácnostech.
- Úspora fosilních paliv, jejichž spalováním se přispívá k oteplování planety a znečištění přírody emisemi: SO₂, CO₂, NO_x, prachových částic [26]

2.4.2. Nevýhody solární energie

- Docela vysoká počáteční investice do solárních systémů
- Při instalaci solárního systému (soustavy) do stávajícího objektu jsou nutné jeho úpravy a to, úprava topné soustavy, změna doplňkového zdroje, zateplení.
- Přísun slunečního záření během roku značně kolísá. Díky tomu nelze tento zdroj využít samostatně. Pro celoroční zdroj energie je třeba použít doplňkový zdroj energie, který bude pokrývat zvýšenou potřebu v době, kdy nebude solární systém schopen dodávat energii.[26]

3. Přeměna slunečního záření na elektřinu a teplo

3.1. Přeměna energie

Přeměna je fyzikální děj, při kterém se nám mění jeden druh energie na jiný druh energie. To je již známo ze známého základního přírodního zákona, a to ze zákona zachování energie, který zní: „*Energie nevzniká ani nezaniká, jen se přeměňuje jedna její forma na jinou.*“ Toto samozřejmě platí i pro energii slunečního záření. [10]

3.2. Přeměna slunečního záření na teplo

Přeměnu slunečního (solárního) záření nazýváme fototermální přeměna a může být pasivní nebo aktivní.

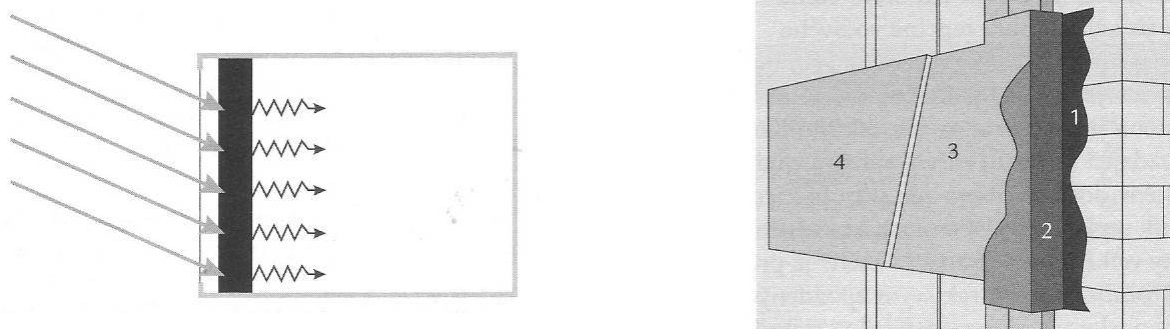
3.2.1. Pasivní systémy

Výhodou těchto systémů je jejich jednoduchost, tedy k provozu nepotřebují žádné další zařízení. Využívá se slunečního záření, které dopadá nejčastěji okny nebo jiným prosklením do interiéru. Tento systém je třeba navrhnout tak, aby byly zisky energie co nejlépe využity (např. cirkulace vzduchu mezi jednotlivými pokoji, otočení plochy určené pro dopad záření na jih). Výhodu mají tzv. těžké budovy, které umožňují krátkodobou akumulaci přebytků energie. Důležitá je regulace a typ vytápěcího systému. [21]

	Ztráty tepla za rok cca	Přínos energie v otopném období		
	KW/m ² .rok	J	JZ, JV	Z, V
Jednoduché zasklení	546	344	310	181
Dvojsklo	273	304	274	160
Dvojsklo s pokovením	141	268	241	141
Trojsklo	94	280	252	147
Trojsklo s pokovením	66	192	173	101
Dvojsklo + Heat Mirror	103	160	144	84

Tab.3.2.1.1 Přibližné hodnoty tepelných ztrát a zisků různých typu zasklení ⁷

Pokud nám na jižní straně budovy nebudou víc než z ¼ stěny tvořit okna, tak lze využít zbytek této stěny na tzv. „Trombeho stěnu“. Což je 20 – 40 cm silná stěna z dobře tepelně vodivého materiálu (beton, plné cihly), povrch této stěny je natřen tmavou barvou a zvenku je zakrytá zasklením (jednoduché, dvojité). Také se dá vzduch mezi zasklením a stěnou odvádět do těch částí domů, kde nejsou jižní okna. Trombeho stěna má značné tepelné ztráty, ale ty jdou eliminovat výměnou běžného zasklení za Transparentní izolaci. Na níže uvedených obrázcích obr.3.2.1.2 je vidět náčrtek Trombeho stěny a transparentní izolaci typu honeycomb, která je právě ideální izolací pro Trombeho stěnu. [5]



Obr.3.2.1.1 a) Trombeho stěna b) Transparentní izolace typu honeycomb: 1-lepicí tmel, 2-panel transparentní izolace, 3-transparentní lepidlo, 4-transparentní povrchová úprava ⁸

3.2.2. Aktivní systémy

Tento systém má výhodu oproti pasivnímu, že jde téměř vždy instalovat do stávající budovy. Jsou daleko méně závislé na chování uživatelů. Jejich využití je univerzálnější, mají stavebnicovou povahu a dají se postavit i v domech, kde v zimě slunce velmi často dopadá jen na střechu (např. hustá městská zástavba).[5]

Aktivní solární systémy pro vytápění se v podstatě dají rozdělit do dvou základních skupin, a to:

- Vytápěcí systémy se vzduchovými kolektory (podkapitola 3.2.3)
- Vytápěcí systémy s kapalinovými kolektory (podkapitola 3.2.4)

V následujících dvou podkapitolách budou popsány vytápěcí systémy s kapalinovými a se vzduchovými kolektory. Jejich důležité části, princip, atd.

⁷ Zdroj: <<http://www.energetika.cz/index.php?id=135>> [cit.2010-11-20]

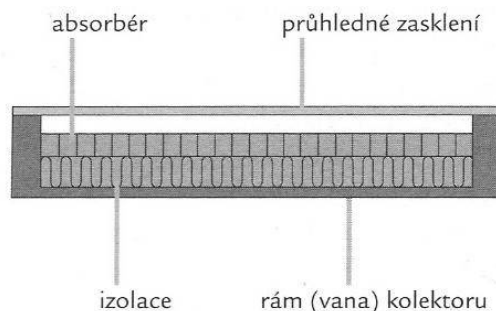
⁸ Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 49, 50

3.2.3. Vytápěcí systém s vzduchovými kolektory

Pro vytápění domu lze využít systému se vzduchovými kolektory, tedy systém, u kterého tvoří teplonosné médium vzduch. Teplovzdušné vytápění nebylo u nás tak běžné jako v USA do doby, než se začaly budovat moderní nízkoenergetické domy. Tento solární systém se skládá ze vzduchových kolektorů (umístěných většinou na střeše nebo fasádě domu), ventilátoru, potrubí, regulace a zásobníku (nejčastěji se teplo akumuluje ve štěrku nebo valounech).[5]

Vzduchové kolektory:

Vzduchové kolektory jsou obvykle jednodušší než kapalinové díky tomu, že nemusí být dokonalé těsněné a pracují při nižší teplotě. Téměř vždy se jako absorbér kolektoru používá zvlněný nebo žebry opatřený plech (obr.3.2.3.1). [5]



Obr.3.2.3.1 Vzduchový kolektor⁹

Akumulátor tepla:

V systémech se vzduchovými kolektory se k akumulaci zpravidla používá kamenivo (štěrk, oblázky). Velkou výhodou je, že k akumulaci nepotřebuje žádný výměník (výměníkem je zde povrch kamenu), malé nároky na těsnost a nízká cena. Hlavními nevýhodami jsou menší tepelná kapacita kameniva ve srovnání s vodou a hmotnost zásobníku je znatelně větší než u systémů používajících kapalinu (vodu). [5]

Rozvody vzduchu:

Největší nevýhodou pro použití vzduchu jako média přenášející teplo je průměr potrubí, které musí být až 10krát větší než v případě, kdy je teplonosným médiem voda. Je to dáno tepelnou kapacitou, jenž je u vzduchu malá. Zpravidla se solární systém na ohřev vzduchu integruje přímo do vzduchotechniky budov. Obvykle je snaha rozměrné rozvody schovat do podlah, respektive stropů. [5]

Regulace:

Nejběžnější je použit diferenční teplotní spínač, který sepne ventilátor vždy, kdy je teplota na kolektoru vyšší než teplota v zásobníku. [5]

Pomocný zdroj tepla:

Lze použít velmi jednoduchý odporový ohřev s malým a levným topným tělesem, pokud se využívá elektřina v přímotopné sazbě. Dále se dá využít zemní plyn nebo tuhá paliva, a to tak, že zpravidla použijeme teplovodní kotel a výměník voda – vzduch. Toto nám i řeší ohřev teplé vody. [5]

⁹ Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 54

3.2.4. Vytápěcí systém s kapalinovými kolektory

Tento typ systému je u nás daleko běžnější než vytápěcí systémy se vzduchovými kolektory. Je to hlavně z toho důvodu, že solární energie se převážně využívá pro ohřev vody a vytápění představuje jen doplňkové využití. V zásadě jsou tyto dva systémy (pro ohřev vody a pro vytápění) podobné. Rozdíl je především ve velikosti systému, kde pro ohřev vody v rodinném domku stačí cca 6 m² kolektorů, kdežto na vytápění je potřebná plocha kolektorů cca až 24 m². Dalším rozdílem je sklon kolektorů, které se často podpoří nahnutím na 60° v zimním období. Níže jsou uvedeny jednotlivé části tohoto systému. [5]

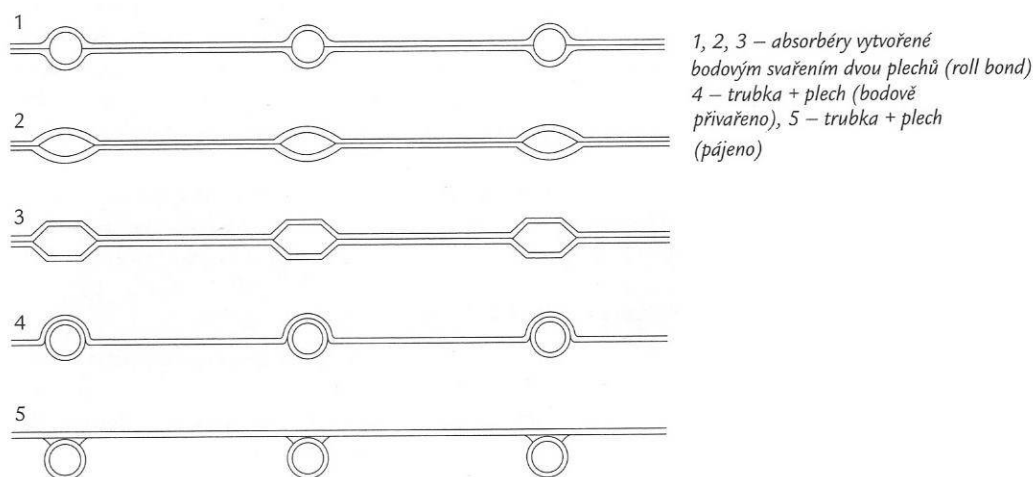
Kapalinové kolektory:

Je to nejdůležitější část těchto systémů. Díky velkému množství provedení není problém si z nabídky vybrat optimální typ. Na trhu se objevují kolektory z různých konstrukčních typů. Základní rozdělení je určeno podle způsobu dopadu slunečního záření na absorbér, tj. na kolektory *ploché* a kolektory *koncentrující*.

U plochého kolektoru je plocha absorbéru stejná jako vstupní apertura (plocha kolektoru, do níž vstupuje záření).

Na rozdíl od koncentrujícího kolektoru, kde je absorbér menší a vstupující záření je na něj soustředěno zrcadlem nebo čočkou.

Dalším rozdělením kolektoru je podle použitého materiálu na plastové (kapalina se ohřívá na relativně nízkou teplotu) a kovové (na vyšší teplotu). Na obr.3.2.4.1 je vidět různé provedení absorbéru. [5]



Obr.3.2.4.1 Provedení absorbéru kapalinových kolektorů ¹⁰

Bez ohledu na konstrukční provedení plní všechny druhy absorbérů svou základní funkci (zachytit dopadající záření a přeměnit na teplo) dobře. Větší rozdíly jsou ve schopnosti zabránit tepelným ztrátám, tedy jaký je užitečný výkon, respektive účinnost kolektoru. S jistým zjednodušením jsou užitečný výkon a účinnost kolektoru dány vztahy:

$$\begin{aligned} W &= \alpha \cdot \tau \cdot E - U \cdot (t_m - t_a), \\ \eta &= \alpha \cdot \tau - U \cdot (t_m - t_a) / E \end{aligned} \quad (1), (2)$$

¹⁰ Zdroj: MURTINGER K., TRUXA J., Solární energie pro váš dům., str. 20

kde je:

W užitečný výkon [W]; α koeficient absorpce; τ koeficient propustnosti zasklení; E intenzita slunečního záření [W/m^2]; U součinitel prostupu tepla z absorberu do okolí; $t_m - t_a$ je rozdíl mezi střední teplotou absorberu a venkovní. [5]

Kvalitní kolektory mají absorber opatřený spektrálně selektivní vrstvou, díky ní mají vyšší účinnost a dokáží zpracovat i difúzní záření. Také zasklení je ze speciálního skla, které má zvýšenou mechanickou pevnost a nízkou pohltivost slunečního záření. [21]

Akumulace tepla:

Na rozdíl od ohřevu vody, kdy používáme zásobník vždy, některé solární systémy pro vytápění zásobník vůbec nemají a teplo z kolektoru v režimu přitápění dodávají přímo do topných těles. Solární systém je v tomto případě napojen na topení přes deskový výměník na zpátečce topného systému. Zásadní nevýhodou tohoto však je, že do domu lze dodávat jen tolik tepla, kolik momentálně potřebuje pro krytí tepelné ztráty. Pokud se používá pro akumulaci tepla zásobník, tak dosahuje objemu v řádu minimálně 1000 litrů. Zásobník má stejně velký vliv na účinnost systému jako kolektor. Existuje celá řada možností, jak akumulovat teplo, ale v základu se liší tím, jestli akumulujeme teplo jako takové (jednoduchost, nevýhodou jsou tepelné ztráty) nebo můžeme přeměnit teplo na jinou formu energie a tu akumulovat (desorpce vhodné hygroskopické látky, reversibilní chemické reakce). V praxi se nejběžněji používá zásobník naplněný vodou, který umožňuje současně ohřev vody a akumulaci tepla pro kotel. [5]

Regulace:

Od regulační jednotky se požaduje, aby optimalizovala rozdělení tepla mezi ohřevem vody a vytápěcím systémem. Ohřev vody má z pravidla prioritu. Regulátor sepne oběhové čerpadlo v okamžiku kdy je teplota na kolektorech větší než teplota v zásobníku. Když je v kolektorech teplota malá, tedy že nestačí pro ohřev vody, tak regulátor přepne na oběh topného systému. Tento způsob regulace zlepšuje využití kolektorů. [5]

3.2.5. Dimenzování

Jednou z prvních zásad je použít navržený systém tam, kde byl opravdu navrhnout. Solární systémy pracují nejlépe, pokud jsou navrženy pro skutečné místní podmínky. Další zásadou pro dimenzování je potřeba znát TUV (teplá užitková voda), tedy co bude od systému požadováno. [18]

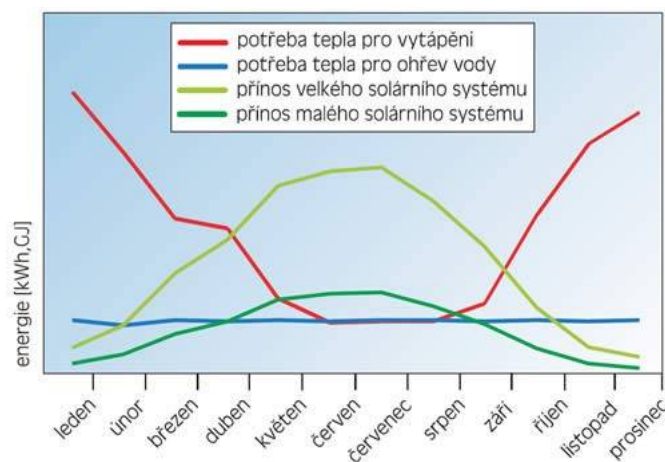
Faktory jenž souvisí s dimenzováním jsou uvedeny v kapitole 2.2 Faktory pro zisk a využití energie.

Z těchto faktorů je možné stanovit množství vyrobené energie z celého systému za rok. Pro podrobné výpočty již existují různé počítačové programy, které jsou schopny přesně navrhnout solární systém. Tyto programy většinou vlastní výrobci slunečních kolektorů nebo firmy, které je montují. Níže je uvedena tabulka, ve které se nachází orientační dimenzování solárních systémů na ohřev TUV. [21]

očet osob	1	2	3	4	6	8	10
Spotřeba TUV (l/den)	82	164	246	328	492	656	820
Zásobník TUV (l)	80	160	240	300	500	700	800
Plocha kolektorů (m ²)	1,6	3,2	4,8	6	10	14	16

Tab.3.2.5.1 Orientační dimenzování solárních systémů ¹¹

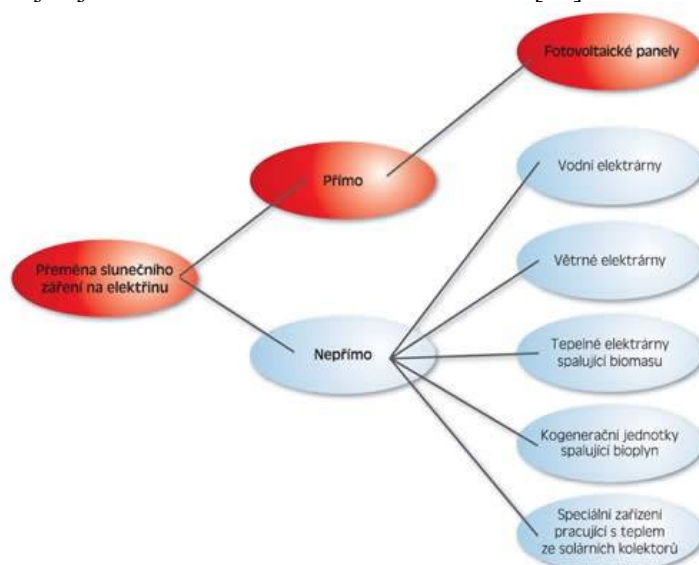
¹¹ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>> [cit.2010-10-26]



Obr.3.2.5.1 Možnosti krytí potřeby tepla solárním systémem různé velikosti ¹²

3.3. Přeměna slunečního záření na elektřinu

Sluneční záření je neefektivnější při přeměně na teplo. Přeměna na elektřinu je dražší. Přímou lze získat elektřinu pomocí fotovoltaických článků (panelů) a nepřímo pomocí větrných elektráren, vodních elektráren, atd. jak je to vidět na níže uvedeném obrázku: [22]



Obr.3.3.1 Typy přeměny slunečního záření na elektřinu. ¹³

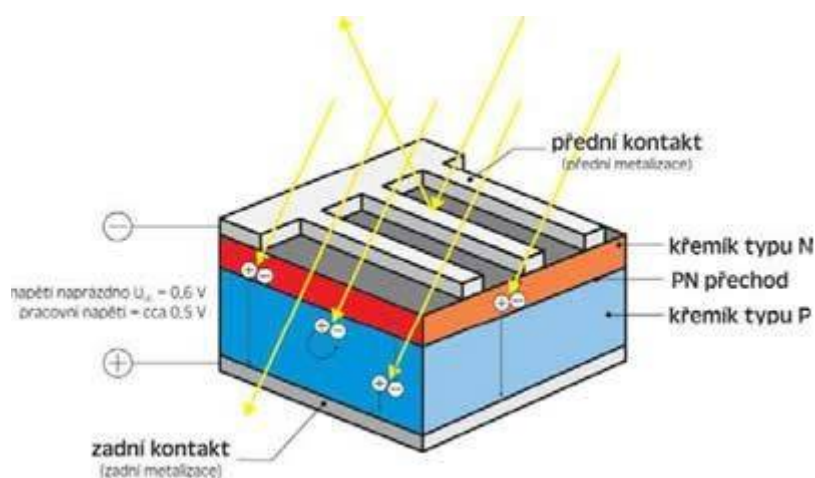
3.3.1. Solární článek (Základní část zařízení)

Solární článek je základním prvkem pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Je to polovodičový velkoplošný prvek s minimálně jedním PN přechodem (v podstatě polovodičová dioda). Na rozhraní materiálu P a N vzniká přechodová vrstva P-N. V této vrstvě existuje elektrické pole

¹² Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>> [cit.2010-10-26]

¹³ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>> [cit.2010-11-28]

vysokých intenzit, a to uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikající absorbcí světla. Již vzniklý elektrický proud odvádějí z tohoto článku elektrody. Elektricky nabitě částice (pár elektron – díra) jsou generovány v ozářeném solární článku fotony. Vnitřním elektrickým polem PN přechodu jsou pak některé elektrony a díry spárovány. Rozdělení náboje způsobuje napěťový rozdíl mezi „předním“ (-) a „zadním“ (+) kontaktem solárního článku. Zátěží připojenou mezi kontakty poté protéká stejnosměrný elektrický proud, který je úměrný intenzitě dopadajícího slunečního záření a velikosti plochy solárního článku. Účinnost u současných hromadně vyráběných článků je 14 – 16 %. U experimentálních článků se dosahuje účinnosti až 28 %. V současné době se nejvíce používají solární články vyrobené z krystalického křemíku (zastoupení 88 %) ve formě monokrystalu nebo multikrystalu s účinností do 16 %. Praktické uplatnění mají i tenkovrstvé solární články na bázi amorfního křemíku s účinností kolem 7 %. Dokonce se již začaly vyrábět nové tenkovrstvé technologie CIS a CIGS struktury, které dosahují účinnosti až 13 %. Vyvíjejí se i solární články na bázi fullerenu a organických materiálů. [1]



Obr.3.3.1.1 Princip činnosti solárního článku ¹⁴

3.3.2. Základní typy fotovoltaických článků

Fotovoltaické články se již vyvíjí přes 50 let a bylo jich vyvinuto spousty typů a konstrukcí s využitím mnoha materiálů. Pro přehlednost rozlišujeme čtyři generace fotovoltaických článků. [4]

a) První generace

Solární články jsou vyrobeny z destiček z monokrystalického křemíku. V současné době je stále tento typ nejpoužívanější.[9]

b) Druhá generace:

Solární články jsou vyrobeny z polykrystalického, mikrokystalického nebo amorfního křemíku. Na rozdíl od první generace jsou tyto levnější, protože spotřebují méně křemíku. Tento typ solárních článků je možné použít i na ohebných podkladech (oblečení, fóliová střešní krytina, apod.).[9]

c) Třetí generace:

Solární články nevyužívají křemík, ale například organické polymery. Tyto články se zatím komerčně mnoho nevyužívají.[9]

d) Čtvrtá generace:

Jedná se o kompozitní články z různých vrstev, které jsou schopné lépe využívat sluneční spektrum. Každá vrstva využívá světlo jiné vlnové délky.[9]

¹⁴ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>> [cit.2010-11-28]

	Běžná účinnost	Max. laboratorní účinnost
Monokrystalický	14-17 %	25 %
Polykrystalický	13-16 %	20 %
Amorfnní	5-7 %	12 %

Tab.3.3.2.1 Účinnost jednotlivých typu solárních článků ¹⁵

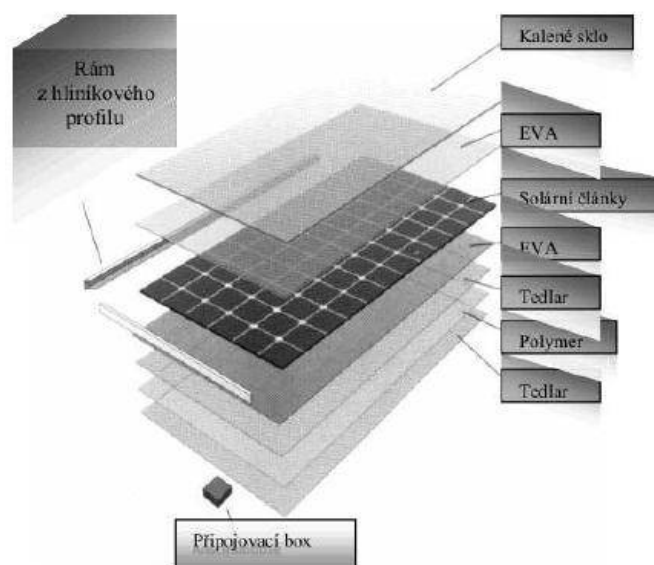
3.3.3. Fotovoltaické panely

Z předchozí podkapitoly (3.3.1) již víme, že solární články jsou poměrně citlivé a komplikované struktury. Aby byly schopny plnit svou funkci po řadu let je třeba je dokonale chránit před znečištěním, korozi a mechanickým poškozením (např. kroupy). Napětí jednotlivých článků je malé (cca 0,5 V) a pro praktické využití je třeba zapojit sériově větší počet článků. Jakmile spojíme více článků do série a zapouzdříme to, lze tomu říkat fotovoltaický panel nebo modul.

Na horní stranu panelu se nejčastěji dává kalené sklo a rám z hliníku (duralu). Díky takovému provedení je fotovoltaický panel dostatečně pevný a mechanicky odolný.

Dokonalou těsnost tvoří vakuová laminace s použitím fólií z ethylen-vinyl acetátového kopolymeru (EVA). Na zadní stranu se také dává sklo, ale častější je fólie Tedlaru. Tedlar je fluoropolymer, který nepropouští vodní páru a je velmi odolný proti UV záření. Rám kromě toho, aby chránil solární články před deformací slouží také k montáži na střechu nebo na podstavec.

U tenkovrstvých solárních článků se požaduje ohebnost, a proto se místo skla dává plastová fólie. Výsledná sestava někdy obsahuje hodně vrstev. Flexibilní tenkovrstvé moduly se často přichycují lepením přímo na podklad. [4]



Obr.3.3.3.1 Popis konstrukce fotovoltaického panelu ¹⁶

3.3.4. Rozdělení fotovoltaických systémů

Fotovoltaické systémy můžeme z hlediska aplikace rozdělit na ostrovní (autonomní) solární systémy, systémy připojené do distribuční sítě a kombinací těchto dvou nazýváme hybridní systémy. [2]

¹⁵ Zdroj: <<http://www.bestservis.cz/fotovoltaika.htm>> [cit.2010-12-09]

¹⁶ Zdroj: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>> [cit.2011-03-11]

a) Ostrovní solární systémy „off-grid“

Tyto systémy se také v některé literatuře objevují pod názvem autonomní systémy. Především se těchto systémů využívá v místech, kde není dostupná elektrorozvodná síť. Jedná se především o využití při čerpání vody, zabezpečovací a telekomunikační technice, atd. Podrobněji bude toto téma rozebráno v kapitole 4. věnované této problematice. [2]

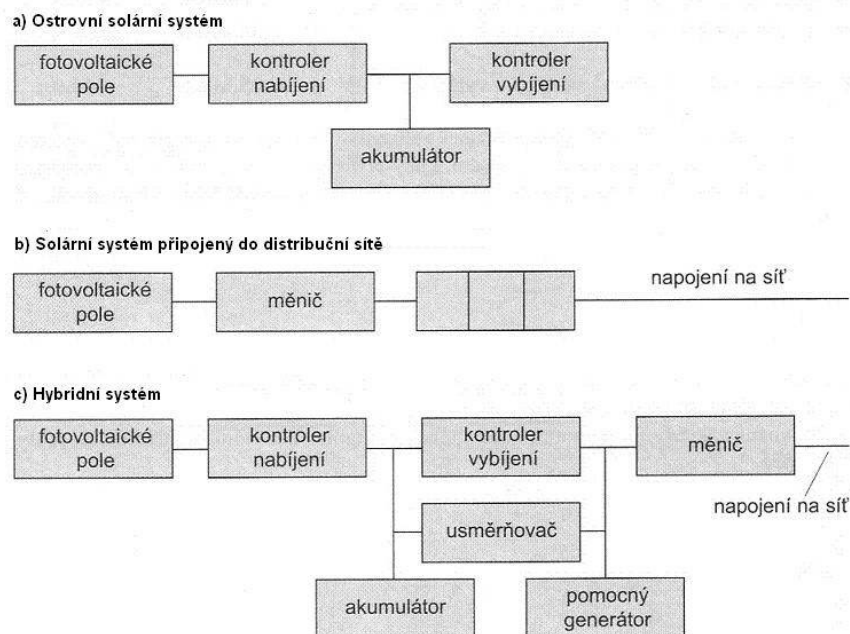
b) Solární systémy připojené do distribuční sítě „on-grid“

Také se těmto systémům někdy říká spolugenerující. Výhodou oproti „off-grid“ je, že nepotřebují akumulátory. Systém „on-grid“ musí mít správně navržený měnič tak, aby pracoval v celém rozsahu napětí poskytovaných fotovoltaickým modulem. Jednoduchý systém tohoto typu obsahuje pouze fotovoltaický modul a měnič na nízké napětí. [2]

Další informace k tomuto systému naleznete v kapitole 5.

c) Hybridní systém

Tento systém obsahuje fotovoltaické panely a minimálně jeden pomocný generátor, např. dieselagregát, větrnou elektrárnu, atd. Dále musí mít tento systém minimálně jednu baterii. Díky tolika prvkům v systému musí mít složitější regulátory a řídicí členy, které optimalizují využití zdrojů v systému. V dlouhodobém provozu jsou všechny tyto prvky systému velmi spolehlivé. [2]



Obr.3.3.4.1 Bloková schémata typů systémů. 17

3.3.5. Dimenzování

Fotovoltaický systém, stejně tak jako systém pro přeměnu slunečního záření na teplo, pracují nejlépe na místě, kde byly na tyto podmínky navrženy. Pro dimenzování je důležité znát faktory ovlivňující zisk a využití energie (kapitola 2.2) a dále ještě účel, uvažovanou spotřebu (výrobu) elektřiny, typ a provozní hodiny připojených spotřebičů, jestli bude systém „off-grid“ nebo „on-grid“, způsob napojení na doplňkový zdroj.

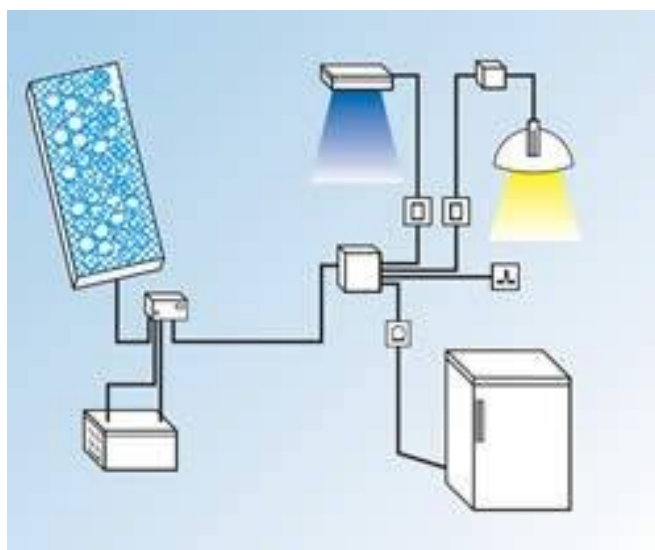
Z toho všeho se dá zjistit kolik můžeme vyrobit energie za rok a také kolik energie potřebujeme. Na přesnější dimenzování již existují programy, které vlastní výrobci fotovoltaických panelů nebo firmy, které tyto panely montují. [22]

¹⁷ Zdroj: Doc. RNDr. CENKA M., A TÝM AUTORŮ, Obnovitelné zdroje energie. 2. vyd.

4. Ostrovní solární systémy „off-grid“

Fotovoltaické systémy s připojením na distribuční síť jsou dosti nákladné a vyplatí se budovat jenom díky vysokým výkupním cenám. Pro ostrovní (autonomní) systémy platí tvrzení opačné, jelikož jsou zpravidla tou nejlevnější možností, jak zajistit v odlehlých místech (bez elektrické infrastruktury) alespoň základní elektrickou energii. U nás mají tyto systémy význam především u chat (některé domy), které se nacházejí na místech, kde z nějakého důvodu není možné se připojit k rozvodné síti. [4]

To znamená, že ostrovní systémy jsou instalovány na místech, kde náklady na tento typ systému jsou nižší než náklady na vybudování a provoz přípojky. Přibližně od vzdálenosti k rozvodné síti více než 500 – 1000 m, ale je třeba to vždy potvrdit individuálně. Výkony se podle typu pohybují od 100 W_p do 10 kW_p špičkového výkonu. Náklady na ostrovní systémy se pohybují v rozmezí 30.000 až 45.000 Kč/m², čemuž zhruba odpovídá 270 – 400 Kč/W_p. Velký důraz se klade na minimální ztráty energie a na vhodné použití energeticky úsporných spotřebičů.



Obr.4.1 Schéma zapojení ostrovního systému ¹⁸

4.1. Rozdělení solárních systém „off-grid“

Solární systémy, které jsou nezávislé na rozvodné síti lze rozdělit na základní tři typy:

- a) **Systém s přímým napájením** – používá se tam, kde je připojené elektrické zařízení funkční jenom v době dostatečné intenzity slunečního záření. V tomto případě je částí systému pouze fotovoltaický modul a spotřebič. Nejčastější aplikace je čerpaní vody pro zavlažování, napájení ventilátoru k odvětrávání uzavřených prostor (skleníků) nebo nabíjení mobilních zařízení, svítilen, atd. (viz. Kapitola 4.4). [1]
- b) **Systémy s akumulací elektrické energie** – používají se tam, kde je elektrická energie potřebná i v době, kdy už nedopadá sluneční záření. Z toho důvodu jsou hlavní součástí tohoto systému akumulátory (viz. Kapitola 4.3.2). Optimální nabíjení a vybíjení zajišťuje regulátor nabíjení. K těmto systémům lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (zpravidla 12 nebo 24 V), ale i běžné síťové spotřebiče s použitím napěťového střídače. Tento

¹⁸ Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>> [cit.2010-11-28]

typ systému se nejčastěji aplikuje pro chaty, dopravní signalizace, zahradní svítidla, camping, atd. [1]

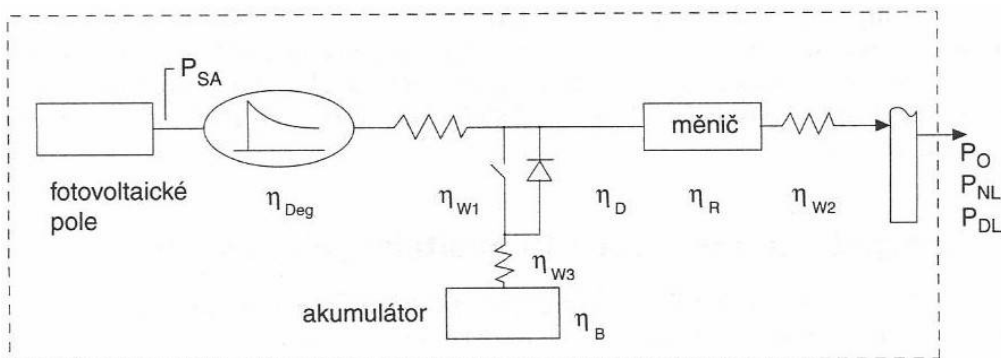
- c) **Hybridní ostrovní systémy** – používají se tam, kde je nutný celoroční provoz a příležitostné použití zařízení s vysokým příkonem. V zimním období je méně slunečního záření, proto se u těchto systémů instaluje více fotovoltaických modulů, což má za následek větší pořizovací náklady nebo se doplní systém doplňkovým zdrojem elektřiny (diesela agregát, větrná el.) což bývá častěji, který pokryje potřebu elektrické energie. Tento systém se aplikuje nejčastěji pro napájení budov s celoročním provozem. [1]

4.2. Energetická rovnováha solárních systémů

Základním principem pro návrh a použití solárních polí a baterií v ostrovním systému je energetická vyváženost. Základní rovnice energetické rovnováhy je výpočet energie spotřebované solární systémem za jeden den E_{SA} a je daná součtem energie potřebné k nabití akumulátoru E_N a energie potřebné na provoz spotřebičů během slunečného dne E_D .

$$E_{SA} = E_N + E_D \quad (3)$$

Tato rovnice popisuje, kolik je nutno získat energii během slunečného dne na provoz systému během noci i dne.



Obr.4.2.1 Schéma typického ostrovního solárního systému ¹⁹

Díky uvedenému schématu lze rovnici energetické rovnováhy přepsat do tvaru:

$$P_{SA}\tau_D = \frac{P_{NL}\tau_N}{K_1 K_2} + \frac{P_{DL}\tau_D}{K_1} \quad (4)$$

kde:

$$K_1 = \eta_{Deg}\eta_{W1}\eta_R\eta_{W2}$$

$$K_2 = \eta_D\eta_B\eta_{W3}$$

P_{SA} je střední výkon solárního pole během dne potřebný pro aplikaci

P_{DL} je střední zatížení elektrického vedení během dne

P_{NL} je střední zatížení elektrického vedení během noci

τ_D je délka dne

¹⁹ Zdroj: Doc. RNDr. CENKA M., A TÝM AUTORŮ, Obnovitelné zdroje energie. 2. vyd.

τ_N je délka noci

η_{Deg} je celkové snížení výkonu solárního pole v daném čase

η_{W1} jsou ztráty ve vedení mezi solárním polem a nabíječem

η_{W2} jsou ztráty ve vedení z regulátoru

η_{W3} jsou ztráty ve vedení mezi regulátorem a baterií

η_B je účinnost baterie

η_D je účinnost blokovacích diod

η_R je účinnost měniče.

Pokud není dostatek solární energie během každého dne, tak nelze k výpočtům použít předcházející rovnice, ale rovnice uvedená níže, která je obohacena o E_{AUX} a E_R .

E_{AUX} je doplňková nabíjecí kapacita z doplňkových fotovoltaických panelů nebo jiných zdrojů elektrické energie

E_R je celková energie dodávaná do baterie během dnů bez slunečního svitu

Rovnice má pak tvar:

$$E_{AUX} + E_{SA} = E_N + E_D + E_R \quad (5)$$

Pro systémy složené jen z fotovoltaických panelů (bez doplňkových zdrojů) je tok výkonu pro E_{AUX} dán vztahem:

$$P_{SAR} \tau_{DR} = \frac{P_{NL} \tau_{NR}}{K_1 K_2} \quad (6)$$

kde:

P_{SAR} je střední výkon během doby τ_{DR} potřebný pro plné nabití baterie o kapacitě E_R

τ_{NR} je celková doba vybíjení baterie během dnů bez slunečního svitu

τ_{DR} je doba plného slunečního svitu potřebná k plnému dobití baterie.

[2]

Parametr	η_{Deg} 10let	η_{W1}	η_{W2}	η_{W3}	η_B	η_D	η_R	τ_D	τ_N
hodnota	0,95	0,98	0,99	0,99	0,80	0,997	0,90	8 h	16 h

Tab.4.2.1 Parametry používané pro výše uvedené výpočty ²⁰

4.3. Části ostrovního solárního systému

4.3.1. Fotovoltaické panely

Fotovoltaickým panelům byla věnována kapitola 3.3.3

4.3.2. Akumulátory

Ostrovní systémy jsou dražší než systémy dodávající proud do sítě, a to díky akumulátorům. U některých fotovoltaických systémů tvoří 40 – 60 % ceny systému akumulátory. Díky znatelně menší životnosti akumulátorů (5 – 10 let) než fotovoltaických panelů (minimálně 20 let) mohou být náklady na akumulátory větší než na panely. Velký význam má tedy prodloužení životnosti a snižování ceny akumulátorů. [4]

²⁰ Zdroj: Doc. RNDr. CENKA M., A TÝM AUTORŮ, Obnovitelné zdroje energie. 2. vyd.

Používáme různé typy akumulátorů. Mezi ty nepoužívanější patří:

- **Olověné akumulátory**

Tyto akumulátory jsou nejčastěji používané. Akumulátory používané ve fotovoltaických systémech se od akumulátorů startovacích liší, a to tím, že jsou optimalizovány na hluboké vybíjení a mají nízké samovybíjení. Tento typ akumulátorů se používá již hodně dlouho a technologie je dokonale zvládnutá. [4]

- **Alkalické akumulátory**

Mezi tento typ akumulátorů se řadí nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-metalhydridové (NiMH) a nikl-ocelové (Ni-Fe). Co se týče fotovoltaických systémů, tak se používají snad jen průmyslové Ni-Cd akumulátory s kapsovými elektrodami, a to jen zřídka. Výhodou Ni-Cd akumulátoru je jejich životnost uváděná 10 – 20 let při cyklech s 60 – 80 % vybíjením. Dobře snáší dlouhodobé vybití, ale nevýhodou je tzv. „paměťový efekt“, což je pokles kapacity, pokud se občas nevybíjí celá. [4]

- **Lithium-iontové baterie**

Tyto baterie se v poslední době začínají využívat docela hodně ve spotřební elektronice, ale pro stacionární solární aplikace jsou zatím drahé a nepoužívají se. Oblast, kde se těchto baterií využívá, je při závodech solárními články poháněných vozidel, a to díky hmotnosti, která je u těchto baterií asi 20% hmotnosti běžné bez údržbové olověné baterie. [4]

Velikost baterie závisí hlavně na nočním odběru, respektive na hloubce povoleného vybití. K tomu, abychom mohli určit potřebnou velikost kapacity baterie nám slouží tento vzorec:

$$C_R = \frac{N_B P_{NL} N_B \tau_N}{K_2 K_D C_D U_B} \quad (7)$$

kde:

C_R je kapacita baterie (Ah)

C_D je hloubka povoleného vybití baterie (%kapacity)

U_B je střední napětí baterie

K_D je navrhovaná rezerva

N_B je počet baterií zapojených paralelně.

τ_N je délka noci

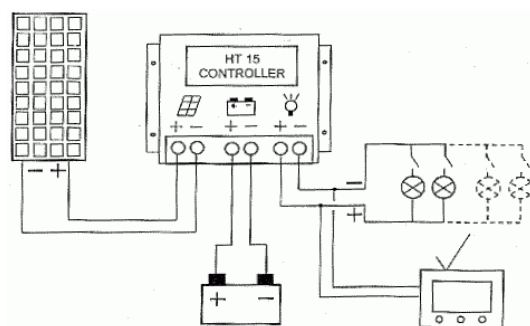
P_{NL} je střední zatížení elektrického vedení během noci

4.3.3. Regulátory nabíjení

Toto zařízení slouží pro nabíjení akumulátorů ze solárního fotovoltaického modulu. Regulátory napětí jsou vysoce spolehlivé a jejich pořizovací náklady jsou nízké. [25]

Používají se převážně polovodičové inteligentní regulátory a ty zajišťují:

- Nabíjení akumulátorů až na 100 % kapacity (díky pulzního dobíjení).
- Prodlužují životnost akumulátoru díky ochraně před přílišným vybitím a jeho přebitím.
- Brání před vybíjením akumulátorů přes solární modul (při nedostatku světla) a kontrolují stav akumulátoru i jeho nabíjení s minimální vlastní spotřebou.
- Chrání instalované spotřebiče před jejich poškozením nebo zničením pomocí zabudované ochrany proti přetížení a zkratu.
- Použitím regulátoru nabíjení využijeme maximálně vyrobenou elektrickou energii ze solárních panelů k nabíjení akumulátorů a k následnému zpracování. [25]



Obr.4.3.3.1 Blokové schéma použití regulátoru nabíjení.²¹

4.4. Přenosné a kapesní aplikace

Dnes již velmi často se setkáváme s fotovoltaikou v kalkulačkách, budících, rádiích a podobných zařízeních jenž mají malou spotřebu elektrické energie. Lze pořídit přenosnou fotovoltaickou nabíječku na mobilní telefony, která přijde v hod na delších výpravách mimo civilizaci. To vše jde i proto, že fotovoltaické články již mohou být naneseny na pružné podložce. Tohoto využívá mimo jiné „elektrická“ bunda, která díky našité fotovoltaice na zádech a ramenech může napájet přenosný mp3 přehrávač, mobilní telefon a jiné. I když si můžete říkat, že jde o hračky, tak jedním z problémů, co toto využití fotovoltaiky omezuje je problém odpadu, který představují alkalické tužkové i jiné baterie. [22]

5. Solární systémy připojené do distribuční sítě „On-grid“

Výhodou tohoto systému je, že výborně řeší základní problém fotovoltaického systému, aby byla využita veškerá vyrobená elektřina. Elektrická síť je ve většině zemí (i u nás) dosti rozsáhlá, může přenášet velké výkony a má mechanismy, které zajišťují rovnováhu mezi výrobou a spotřebou. Solární články produkují stejnosměrný elektrický proud při poměrně malém napětí, a proto je potřeba u těchto systémů použít vhodný měnič, který je schopen vyrobit například z 12 V stejnosměrného napětí 230 V střídavého napětí o frekvenci 50 Hz. Tento měnič musí pracovat ve fázi s rozvodnou sítí. Když nastane situace, že je v síti vypnutý proud, tak musí celé zařízení od sítě odpojit v tom samém okamžiku. [4]

V podstatě objekt s tímto systémem funguje tak, že v případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v objektu napájeni vlastní vyrobenou elektrickou energií a přebytek je dodáván do rozvodné sítě. Při malém množství vlastní vyrobené elektrické energie si ji odebíráme z rozvodné sítě. Tento typ systému funguje zcela automaticky díky mikroprocesorem řízeného střídače. Připojení k síti spadá pod rozvodné závody a jejich schvalovacímu řízení. Špičkové výkony těchto fotovoltaických systémů se pohybují od kW_p až po desítky MW_p . fotovoltaické panely jsou většinou zabudovány do obvodového pláště budov. Dnes je většina fotovoltaických systémů napojena na rozvodnou síť, pokud je to možné. [1]

Investiční náklady na tento typ solárního systému se pohybují přibližně od 23.000 do 35.000 Kč/m², což zhruba odpovídá 200 – 350 Kč/W_p (Uvedené ceny jsou spočítány orientačně, záleží na použité technologii, složitosti montáže a velikosti zařízení).

²¹ Zdroj: <<http://www.sany.cz/www/elektrina-ze-slunce/regulatory-nabijeni/>> [cit.2011-03-11]



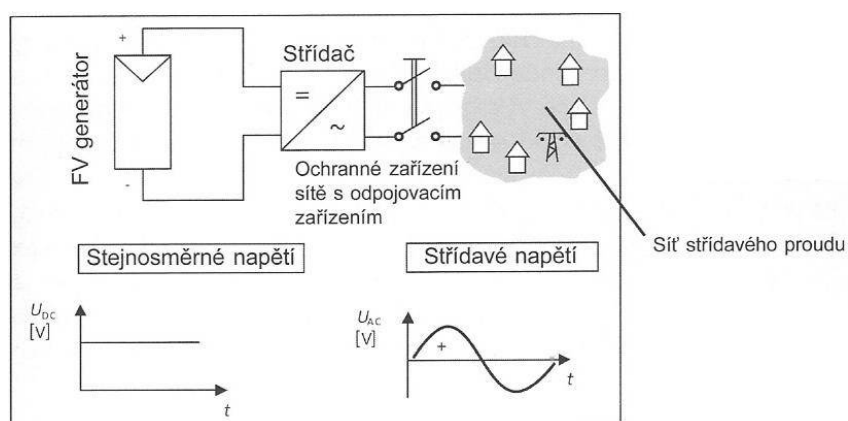
Obr. 5.1 Schéma zapojení solárního systému „On-grid“²²

5.1. Střídač

Střídač je zařízení, které umožňuje propojit solární generátor a síť střídavého proudu. Toto zařízení převádí stejnosměrný proud (DC), který byl vyroben solárním generátorem, na střídavý proud (AC) a přizpůsobuje jej na velikost napětí a kmitočet sítě. Díky moderní výkonové elektronice je převod ze stejnosměrného na střídavý proud prováděn s malými ztrátami.

U fotovoltaických zařízení napojených na síť je střídač spojen přímo s veřejnou sítí, pokud není výkon větší než 5 kWp nebo plocha modulů nepřesahuje přibližně 50 m². Většinou je napojen na nízkonapěťovou síť jednofázově (230 V). Větší fotovoltaické zařízení se používá centrální třífázový měnič, který napájí stejnoměrně všechny tři fáze sítě. [3]

Díky měnící se teplotě a ozáření se také mění výkon solárního generátoru. Regulátor bodu maximálního výkonu ve střídači nám zařídí, aby střídač dodával do sítě maximální výkon. Moderní střídače dokonce umožňují dohled nad fotovoltaickým zařízením a mají rozhraní pro připojení k PC. Ve většině střídačů jsou také zabudovaná různá ochranná zařízení. [3]



Obr. 5.1.1 Princip střídače připojeného na síť²³

²² Zdroj: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>> [cit.2010-11-28]

²³ Zdroj: HASELHUHN R., Fotovoltaika. Budovy jako zdroje proudu., str.53

5.2. Legislativa ve fotovoltaice

5.2.1. Co je potřeba zařídit před uvedením FVE do provozu

Provoz fotovoltaické elektrárny napojené na distribuční síť se považuje za podnikání podle zvláštního předpisu. Proto musíme nejprve získat licenci od Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Tato licence splňuje funkci živnostenského listu, tedy opravňuje svého držitele k podnikání podle pravidel energetického zákona. Pro získání licence nepotřebujete žádné zkušenosti ani specializované vzdělání pokud je FVE do výkonu 20 kW. [20]

Povinnosti k udělení licence: [20]

- Vyplnit žádost o licenci
- Vyplnit formulář ERÚ
- Zakoupit kolek ve výši 1000 Kč
Přiložit revizní zprávu elektrárny

Po obdržení licence se musí majitel zaregistrovat: [20]

- Do 30 dnů na finančním úřadě
- Do 8 dnů na okresní správě sociálního zabezpečení
- Do 8 dnů na zdravotní pojišťovně

5.2.2. Legislativní rámec pro výstavbu nových FVE

Fotovoltaické elektrárny se také jako malé vodní elektrárny, větrné elektrárny apod. řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Základní předpis vymezující legislativní rámec pro tyto typy zdrojů je *Zákon č.180/2005 Sb.* o podpoře využívání obnovitelných zdrojů.

Následně bylo k tomuto zákonu vydáno několik níže uvedených vyhlášek, které upravily a vyložily některá ustanovení zákona. [27]

Vyhláška č.426/2005 Sb., stanoví udělování licenci pro podnikání v energetických odvětvích

Vyhláška č.475/2005 Sb., prováděcí vyhláška zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů

Vyhláška č.363/2007 Sb., upravila znění vyhlášky č.426/2005 Sb.

Vyhláška č.364/2007 Sb., upravila znění vyhlášky č.475/2005 Sb.

Vyhláška č.81/2010 Sb., podmínky připojení k elektrizační soustavě

Zákon č.402/2010 Sb., novela zákona č.180/2005 Sb. – omezuje podporu pouze na zdroje do 30 kW a instalované na budovách

Přesné znění vyhlášek a zákonů lze nalézt na internetovém portálu uvedeném v použité literatuře pod číslem [24], kde do políčka nazvaného „Číslo předpisu“ vepíšeme číslo požadované vyhlášky (zákonu).

5.3. Geomorfologické a meteorologické podmínky pro výstavbu FVE v ČR

Tato problematika je již dostatečně popsána v kapitole 2.2, která má název Faktory pro zisk a využití energie.

5.4. Podmínky pro připojení FVE do Distribuční sítě

Fotovoltaické elektrárny je možné do distribuční soustavy připojit, pokud budou dodrženy pravidla provozování distribučních soustav (PPDS), a to hlavně příloha č.4 – Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí nízkého nebo vysokého napětí, a norma ČSN EN 50160.

V podstatě příloha č.4 PPDS vychází z normy ČSN EN 50160 – Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, kterou zpřísňuje v zájmu zachování stability.

Norma ČSN EN 50160 uvádí hlavní charakteristiky napětí v místech připojení odběratelů z veřejných distribučních sítí nn a vn za normálních provozních podmínek. Tato norma udává meze nebo hodnoty charakteristických hodnot napětí, které může jakýkoliv odběratel očekávat za normálních provozních podmínek. Norma nepopisuje situaci pro odběratele z veřejné distribuční sítě. [8]

Následující podkapitoly jsou zaměřeny na definice a limity týkající se připojení FVE do DS stanovené normou ČSN EN 50160 a přílohou č.4 PPDS.

5.4.1. Kmitočet sítě

Z normy ČSN EN 50160 vyplývá, že jmenovitý kmitočet napájecího napětí musí být 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonicky měřená v intervalu 10 s a u systémů se synchronním připojením k propojenému systému musí být v následujících mezích:

50 Hz \pm 1 % (tj. 49,5 Hz – 50,5 Hz) během 99,5 % roku,
50 Hz \pm 4%/-6% (tj. 47 Hz – 52 Hz) po 100 % času. [25]

5.4.2. Velikost napájecího napětí

Normalizované jmenovité napětí U_n je 230 V mezi fázovým a středním vodičem (pro čtyřvodičové trojfázové soustavy) a 230 V mezi fázovými vodiči (pro třívodičové trojfázové soustavy). [8]

5.4.3. Odchylka napájecího napětí

Podle normy ČSN EN 50160 musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu $U_n \pm 10$ % za normálních provozních podmínek a s vyloučením přerušení napájení. [8]

Příloha č.4 PPDS to zpřísňuje. U zvýšení napětí a změně napětí při spínání jsou uváděny tyto hodnoty:

Zvýšení napětí:

U výroben s přípojným místem v síti vn a 110 kV nesmí zvýšení napětí vyvolané provozem přípojných výroben v přípojném bodě překročit 2 % ve srovnání s napětím bez jejich připojení.

$$\Delta u_{vn,110} \leq 2\% \quad (8)$$

a pro výroby s přípojným místem v síti nn nesmí být překročena 3 %, tedy:

$$\Delta u_{nn} \leq 3\% \quad (9)$$

Pokud je v síti nn nebo vn pouze jedno přípojně místo, pak je možné tyto podmínky posoudit jednoduše, a sice pomocí zkratového poměru výkonu:

$$k_{k1} = \frac{S_{kV}}{\sum S_{A\max}} \quad (10)$$

Kde S_{kV} je zkratový poměr v přípojném bodě a $\sum S_{A\max}$ je součet maximálních zdánlivých výkonů všech připojených / plánovaných výroben. [11]

Změny napětí při spínání:

Změny napětí (způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých výroben) ve společném napájecím bodě nevyvolávají nepřijatelné zpětné vlivy, pokud nepřekročí nejvyšší změna napětí 3 %. Toto platí jak pro výrobní s předávacím místem v síti nn:

$$\Delta u_{\max,nn} \leq 3\% \quad (11)$$

Tak i pro výrobní s předávacím místem v síti vn:

$$\Delta u_{\max,vn} \leq 2\% \quad (12)$$

Platí to ale jen tehdy, pokud není spínání častější než jednou za 90 s (1,5 min). Pokud je četnost spínání velmi malá (např. jednou denně), tak může PDS připustit větší změny napětí (pokud to dovolí poměry v síti.) [11]

5.4.4. Rychlá změna napětí

Podle normy ČSN EN 50160 určujeme velikost rychlých změn napětí a míru vjemu flikru. [8]

Velikost rychlých změn napětí:

Změny zatížení u odběratelů i spínání v síti způsobuje rychlé změny napájecího napětí.

Norma určuje, že u nízkonapěťové napájecí charakteristiky za normálních provozních podmínek rychlé změny napětí obecně nepřekročí 5% U_n , ale při určitých okolnostech se však mohou vyskytnout několikrát denně rychlé změny napětí až do 10 % U_n .

U vysokonapěťového napájení za normálních provozních podmínek rychlé změny napětí všeobecně nepřekročí 4 % U_c , ale při určitých okolnostech se však mohou několikrát denně vyskytnout změny až do 6 % U_c . [8]

Míra vjemu flikru:

Při normálních provozních podmínkách musí být z 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$.

„Flikr je vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase.“ [Norma ČSN EN 50160, r.2000, str.7]

„Míra vjemu flikru je intenzita nepříjemnosti flikru definována měřicí metodou flikru.“ [Norma ČSN EN 50160, r.2000, str.8]

Vyhodnocujeme:

- krátkodobou míru vjemu (P_{st}) – měřena po dobu deseti minut,
- dlouhodobou míru vjemu (P_{lt}) – vypočítaná z posloupnosti dvanácti hodnot P_{st} po dobu dvouhodinového intervalu. [8]

Příloha č.4 PPDS určuje, se zřetelem na kolísání napětí, dodržet ve společném napájecím bodě nn a vn mezní hodnotu:

$$P_{lt} \leq 0,46.$$

Ve společném napájecím bodě 110 kV mezní hodnotu:

$$P_{lt} \leq 0,37. \quad [11]$$

5.4.5. Krátkodobé poklesy napájecího napětí

„Krátkodobý pokles je náhlý pokles napájecího napětí na hodnotu mezi 90 % a 1 % dodaného napětí (U_c), po kterém následuje obnovení napětí během krátkého časového intervalu. Konvenční doba trvání krátkodobého poklesu napětí je mezi 10 ms a 1 minutou.“ [Norma ČSN EN 50160, r.2000, str.8]

Podle normy ČSN EN 50160 může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí za normálních provozních podmínek během roku od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má hloubku poklesu méně než 60 % a dobu trvání do 1 s. V některých oblastech se mohou velmi často vyskytovat krátkodobé poklesy napětí s hloubkou poklesu u nn 10-15 % U_n a u vn 10-15 % U_c jako následek spínání zatížení v instalacích odběratelů. [8]

5.4.6. Krátkodobá a dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Přerušení napájecího napětí je dle normy ČSN EN 50160 stav, při kterém je napětí v předávacím místě menší než 1 % dohodnutého napětí U_c . [8]

Dělí se na:

- předem dohodnutá – odběratelé jsou předem informováni,
- poruchová – způsobená trvalými nebo přechodnými poruchami většinou s vnějšími vlivy.

A ty se dělí na:

- dlouhodobé přerušení – delší než 3 minuty
- krátkodobé přerušení – do 3 minut. [8]

Krátkodobá přerušení:

Výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí za normálních provozních podmínek je ročně v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Kratší než 1 sekunda bývá přibližně 70 % krátkodobých přerušení. [8]

Dlouhodobá přerušení:

Při normálních provozních podmínkách může být roční četnost přerušení napětí delších než 3 minuty 10 – 50 (v závislosti na oblasti). [8]

5.4.7. Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

„Dočasné přepětí o síťovém kmitočtu je přepětí v daném místě, které má relativně dlouhou dobu trvání.“ [Norma ČSN EN 50160, r.2000, str.8]

Objevují se během poruch ve veřejné distribuční síti nebo v instalaci odběratele. Mízi jakmile je porucha odstraněna.

Za určitých okolností způsobují dočasné přepětí na straně nn a zkrat na straně vn transformátoru, jejich doba trvání bude shodná. Tyto přepětí nepřekračují efektivní hodnotu 1,5 kV u nn. U vn nepřekročí efektivní hodnotu $1,7 U_c$ v sítích s uzlem účinně uzemněným nebo uzemněným přes impedanci $2 U_c$ v soustavách izolovaných nebo uzemněných rezonančně. [8]

5.4.8. Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

„Přechodné přepětí je krátkodobé oscilační nebo neoscilační přepětí obvykle silně tlumené s dobou trvání několika milisekund nebo méně.“ [Norma ČSN EN 50160, r.2000, str.8]

U nn přechodná přepětí nepřekračují vrcholovou hodnotu 6 kV, pouze náhodně. Doby čela přepětí jsou od milisekund až méně než mikrosekundy.

U vn není definována vrcholová hodnota přechodného přepětí. Obvykle jsou však způsobeny spínáním nebo bleskem. Spínací přepětí mají obecně nižší vrcholovou hodnotu než atmosférická přepětí. [8]

5.4.9. Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie napětí je stav trojfázové sítě, při kterém nejsou stejné efektivní hodnoty fázových napětí nebo rozdíly fázových úhlů po sobě jdoucími fázemi.

Za normálních provozních podmínek musí být u nn i vn v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0-2 %, v některých oblastech až 3 %, sousledné složky. [8]

5.4.10. Harmonická napětí

„Harmonické napětí je sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí.“ [Norma ČSN EN 50160, r.2000, str.8]

Harmonické napětí lze hodnotit:

- jednotlivě – jejich relativní amplitudou (U_n) vztaženou k základní harmonické U_1 ,
- souhrnně – pomocí činitele celkového harmonického zkreslení THD. [8]

Dle normy ČSN EN 50160 musí být za normálních provozních podmínek v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v příslušné tabulce Tab.5.4.10.1.

Celkový činitel zkreslení THD napájecího napětí musí být menší nebo roven 8 %. [8]

liché harmonické				sudé harmonické	
ne násobky 3		násobky 3			
řad harmonické h	harmonické napětí %	řad harmonické h	harmonické napětí %	řad harmonické h	harmonické napětí %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25					
Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádí, jelikož jsou obvykle malé.					

Tab.5.4.10.1 Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě.²⁴

5.4.11. Meziharmonická napětí

Hladina meziharmonických napětí narůstá díky rozvoji měničů kmitočtů a podobných zařízení. V současné době se hodnoty sledují a získávají se další zkušenosti. V určitých případech způsobují i nízkých úrovní flickr nebo rušení v systému HDO. [8]

5.4.12. Ovlivnění zařízení HDO

Příloha č.4 PPDS uvádí, že zařízení harmonického dálkového ovládání (HDO) jsou provozována obvykle s frekvencí 183,3 – 283,3 Hz. U PDS je zapotřebí zjistit místně použitou frekvenci HDO. Obvykle je vysílací úroveň 1,5 – 2,5 % U_n .

Výrobní, do nichž se vysílá signál HDO a jsou připojené k síti mimo přípojnicí, mohou způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 %, pokud bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určena měřením (musí být zaručena i při mimořádných zapojeních sítí).

Při posuzování poklesu hladiny signálu HDO výrobny je potřeba uvažovat nad následujícími hledisky. [11]

- Zdroje připojené statickými střídači bez filtru většinou nezpůsobují významné snížení hladiny signálu HDO.
- Zdroje, jejichž asynchronní nebo synchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolají tím nižší pokles, čím je vyšší frekvence HDO a zkratový výkon sítě. [11]

Dále nesmí být produkována nežádoucí rušivá napětí, proto obecně platí:

- výrobnou vyvolané rušivé napětí, jenž leží v bezprostřední blízkosti nebo jeho frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO, nesmí překročit 0,1 % U_n ,
- napětí produkované výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz nad nebo pod místně použitou frekvenci HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0,3 % U_n . [11]

K síti výrobní je možné bez posouzení jen tehdy, nepřesáhne-li jejich výkon v přípojném bodě a výkon v celé síťové oblasti hodnoty v níže uvedené tabulce Tab.5.4.12.1. [11]

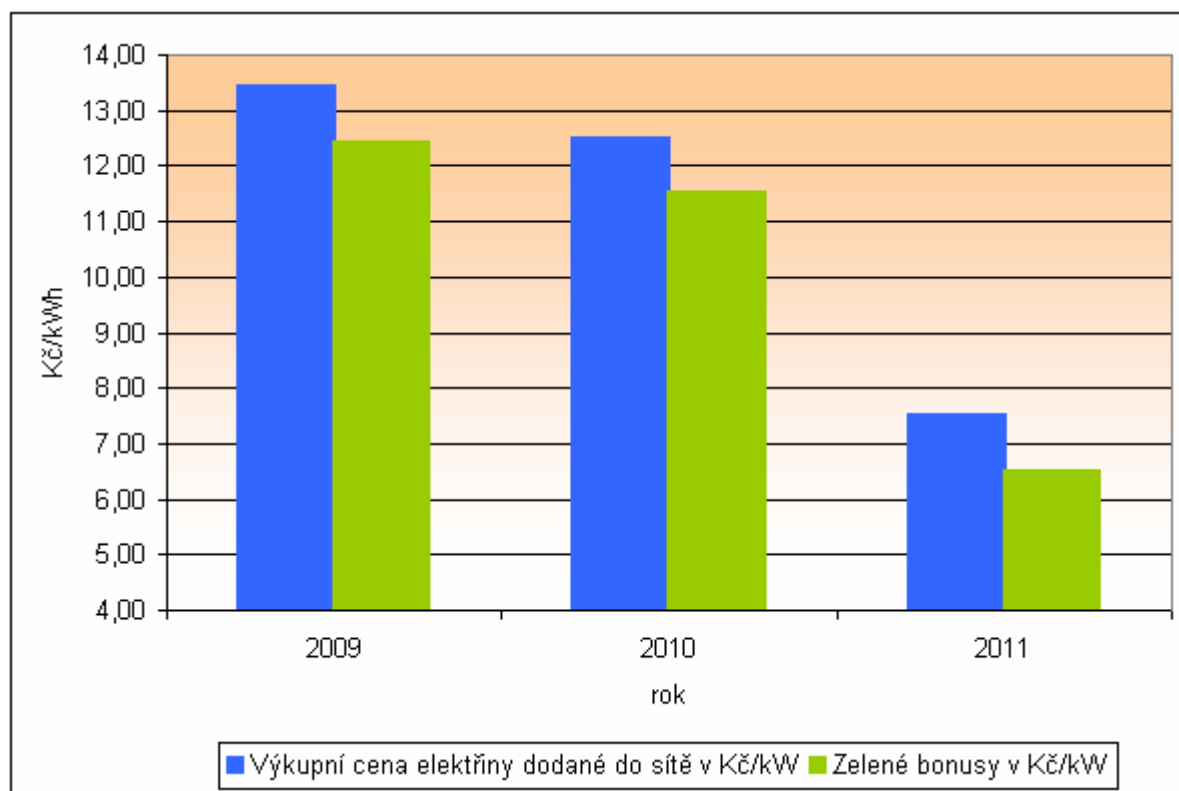
²⁴ Zdroj: Norma ČSN EN 50160, str.12

Napěťová úroveň [kV]	Celkový výkon výrobních zařízení	
	V přípojném bodu	V síťové oblasti
0,4	10 kVA	20 kVA
VN	2 MVA	4 MVA
110	20 MVA	40 MVA

Tab.5.4.12.1 Hodnoty pro připojení výroby k síti bez posouzení.²⁵

5.5. Cenová rozhodnutí

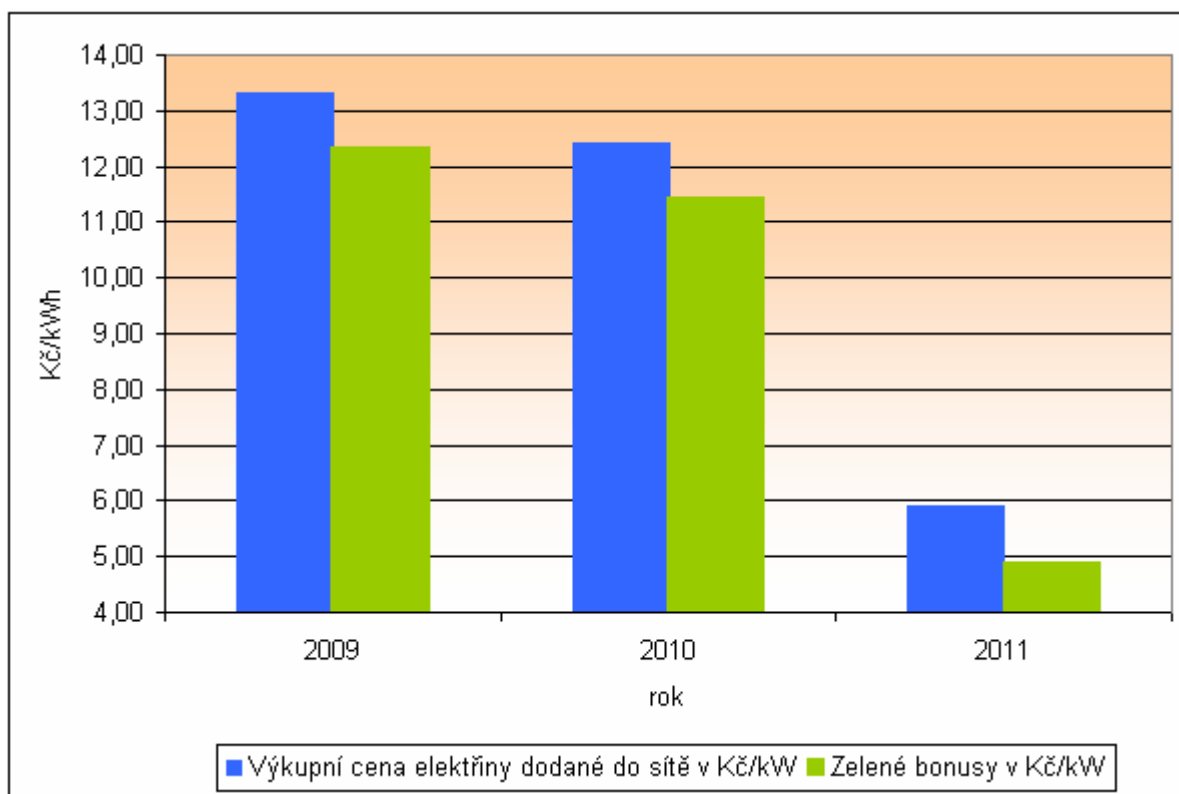
Cenová rozhodnutí jsou rozhodnutí o cenách výkupu elektrické energie stanovené Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Tyto ceny se stanovují vždy pro výroby elektřiny uvedené do provozu v daném roce a jsou uvedeny také na internetových stránkách společnosti ERÚ. V následujících grafech je vidět pokles cen za výkup elektrické energie vyrobené pomocí slunečního záření v posledních třech letech.



Obr.5.5.1 Vývoj výkupní ceny a zelených bonusů FVE do 30kW²⁶

²⁵ Zdroj: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds_priloha_4_2009.pdf> [cit.2011-03-31]

²⁶ Zdroj: <http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2_2010_OZE-KVET-DZ%20final.pdf> [cit.2011-03-13]



Obr.5.5.2 Vývoj výkupní ceny a zelených bonusů FVE nad 30kW²⁷

Grafy byly vytvořeny na základě dat z Cenového rozhodnutí ERÚ č.2/2010. [15]

Od letošního roku (2011) došlo ke změně výkupních cen u FVE s instalovaným výkonem nad 100 kW. Výkupní cena je 5,50 Kč/kWh místo 5,90 Kč/kWh a zelený bonus 4,50 Kč/kWh místo 4,90 Kč/kWh. Je to způsobeno tím, že nejsou pouze FVE do 30 kW a nad 30 kW, ale jsou FVE do 30 kW, od 30 kW do 100 kW a od 100 kW. [23]

5.5.1. Zelený bonus

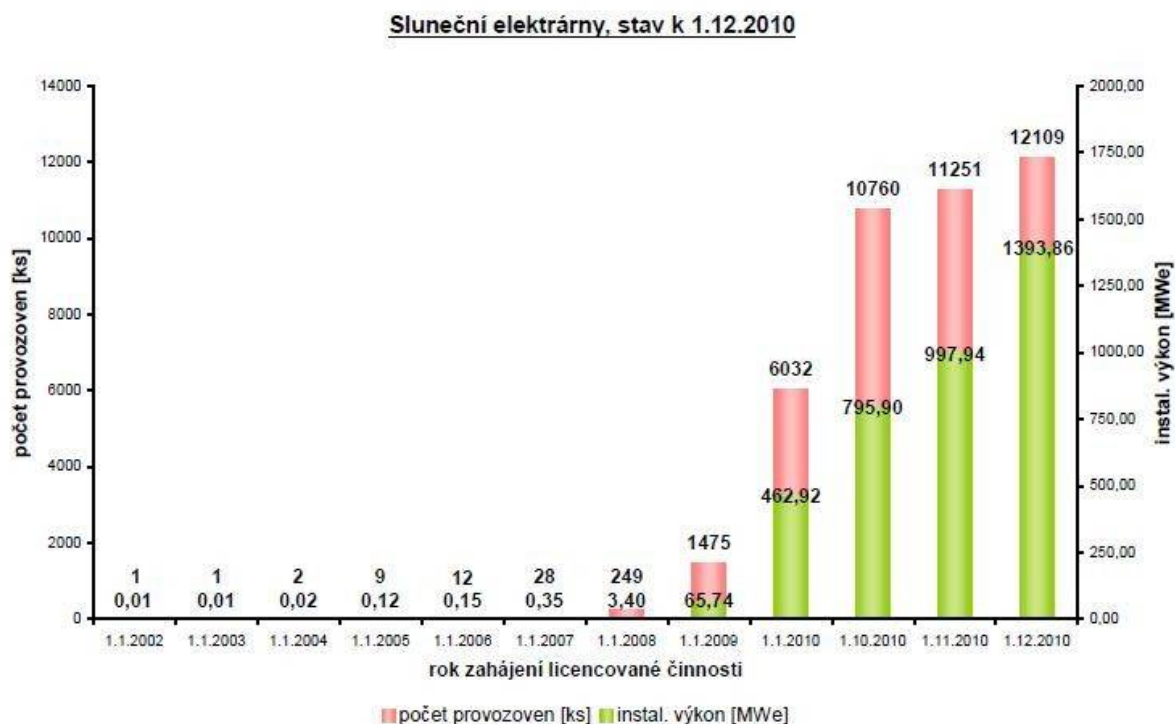
Ve výše uvedených grafech také vidíme hodnotu Zeleného bonusu. Tento bonus lze získat pokud aspoň část elektrické energie vyrobené pomocí slunečního záření využijete pro vlastní spotřebu. Zbytek vyrobené elektřiny prodáte do rozvodné sítě. Výhodou je, že za vámi vyrobenou a spotřebovanou elektřinu nic neplatíte. Odběratele přebytečné elektrické energie si musíte najít sami. Výši zeleného bonusu také stanovuje Energetický regulační úřad. [14]

5.6. Změna vývoje FVE připojených na DS od roku 2005 do roku 2011

V roce 2005 začal platit v ČR zákon č.180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Díky tomuto zákonu a technickému pokroku, kdy se návratnost investic do fotovoltaiky snížila z původních 15 let až na polovinu, u nás od konce roku 2008 do konce roku 2010 vzrostl dvanáctkrát instalovaný výkon FVE. Toto je patrné z Obr.23.

²⁷ Zdroj: <http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2_2010_OZE-KVET-DZ%20final.pdf> [cit.2011-03-13]

Tento růst byl nepřipustný, poněvadž každý z nás platí za spotřebovanou elektřinu příspěvek na obnovitelné zdroje (OZE). Díky růstu instalovaného výkonu FVE také vzrostou konečné ceny pro odběratele. ERÚ tento růst, díky zaváhání v předchozích letech, nemohl zastavit až do března 2010, kdy byla schválena novela zákona. S touto novelou ERÚ u projektů s nižší návratností investic než 11 let (týkající se FVE) může meziroční limity výkupní ceny snižovat víc než o 5 %, jak bylo stanoveno doposud. [23]



Obr.5.6.1 Informace o výrobě elektrické energie ze solárních zdrojů.²⁸

Na tomto obrázku (Obr.5.7.1) je znázorněn celkový počet aktivních licencovaných provozoven využívajících sluneční záření k výrobě elektrické energie a také jejich celkový instalovaný výkon ke dni 1. 12. 2010. [17]

5.6.1. Bilanční limity

Nárůst instalovaného výkonu vyrobeného pomocí solárního záření byl také nepříznivý pro bezpečný provoz ES v ČR. Studií společnosti EGÚ Brno, a.s. (je vědeckovýzkumná, inženýrská, konzultační a realizační společnost působící v oblasti výroby, dopravy a akumulace elektrické energie a tepla) byly stanoveny limity soudobého pohotového výkonu neřiditelných obnovitelných zdrojů energie (tedy větrné elektrárny + fotovoltaické elektrárny) pro bezpečný provoz ES v ČR. Hodnoty jsou stanoveny momentálně takto:

Limit pro období 2010 až 2012 – 1650 MW

Limit pro období 2013 až 2015 – 2000 MW

²⁸ Zdroj: <<http://www.eru.cz/>> [cit.2011-03-15]

Limitem se rozumí maximální výroba z obnovitelných zdrojů energie při dané hodnotě exportu a spotřeby za podmínky zachování výkonové rovnováhy ES v ČR.

Úzká místa pro udržitelný rozvoj fotovoltaických elektráren a větrných elektráren v ES jsou:

- Velikost spotřeby i včetně exportu
- Disponibilita rezerv
- Kapacita distribuční sítě
- Transformační vazba mezi přenosovou a distribuční soustavou
- Kapacita přenosové sítě

Seřazeno od zásadních po minoritní omezení. [7]

6. Posouzení vlivů FVE již zapojené do DS

6.1. Popis FVE

Níže analyzovaná fotovoltaická elektrárna, nafocená na obrázku obr.6.1.1, se nachází v Moravskoslezském kraji. Tato elektrárna, uvedená do provozu v roce 2009, má celkový instalovaný výkon 1100 kWp a ročně vyrobí až 1050 MWh/rok díky 5304 ks instalovaných fotovoltaických panelů FCP270 od společnosti FitCraft Production a.s..



Obr.6.1.1 Fotovoltaická elektrárna z Moravskoslezského kraje

6.1.1. Popis použitých FV panelů

Jak jsem již zmiňoval, bylo použito 5304 ks fotovoltaických panelů společnosti FitCraft Production a.s. pod označením FCP 270.

Tyto FV panely se řadí k nové generaci panelů vyráběných na základě multikrystalických křemíkových článků s účinností až 16,4 %. Tento výrobek zaručuje vysokou kvalitu, odolnost, dlouhodobou životnost a je určen pro malé i velké aplikace pro systémová napětí do 1000 V. [18]

V níže uvedené tabulce Tab.6.1.1.1 jsou uvedeny nejdůležitější parametry jednoho kusu FV panelu:

Parametr:	Hodnota:
Hmotnost	22 kg
Rozměry	1945 x 985 x 45 mm
Počet článků	72 ks
Maximální výkon	270 Wp
Tolerance	+/-5 %
Napětí maximálního výkonu	38,5 V
Proud maximálního výkonu	7,02 A
Napětí naprázdno	45,4 V
Proud nakrátko	7,9 A
Maximální napětí systému	1000 V

Tab.6.1.1.1 Parametry FV panelu FCP 270²⁹

6.1.2. Popis použitých invertorů

V této fotovoltaické elektrárně byly použity invertory od německé firmy KACO, a to konkrétně KACO Powador 33000xi PARK, který převádí stejnosměrné napětí a proudy na střídavé hodnoty o požadovaných amplitudách. Střídač umožňuje připojit FV generátor do výkonu 33 kW, proto jich bylo použito několik kusů. Tento inverter má účinnost až 97,4 %, kontrola tří fází a další přednosti. [19]



Obr.6.1.2.1 Invertory KACO Powador 33000xi PARK³⁰

²⁹ Zdroj: <<http://www.fitcraftproduction.cz/soubory/file109.pdf>> [cit.2011-04-11]

³⁰ Zdroj: <<http://www.fitcraftproduction.cz/?clanek=17>> [cit.2011-04-11]

6.2. Měření a vyhodnocení naměřených parametrů FVE

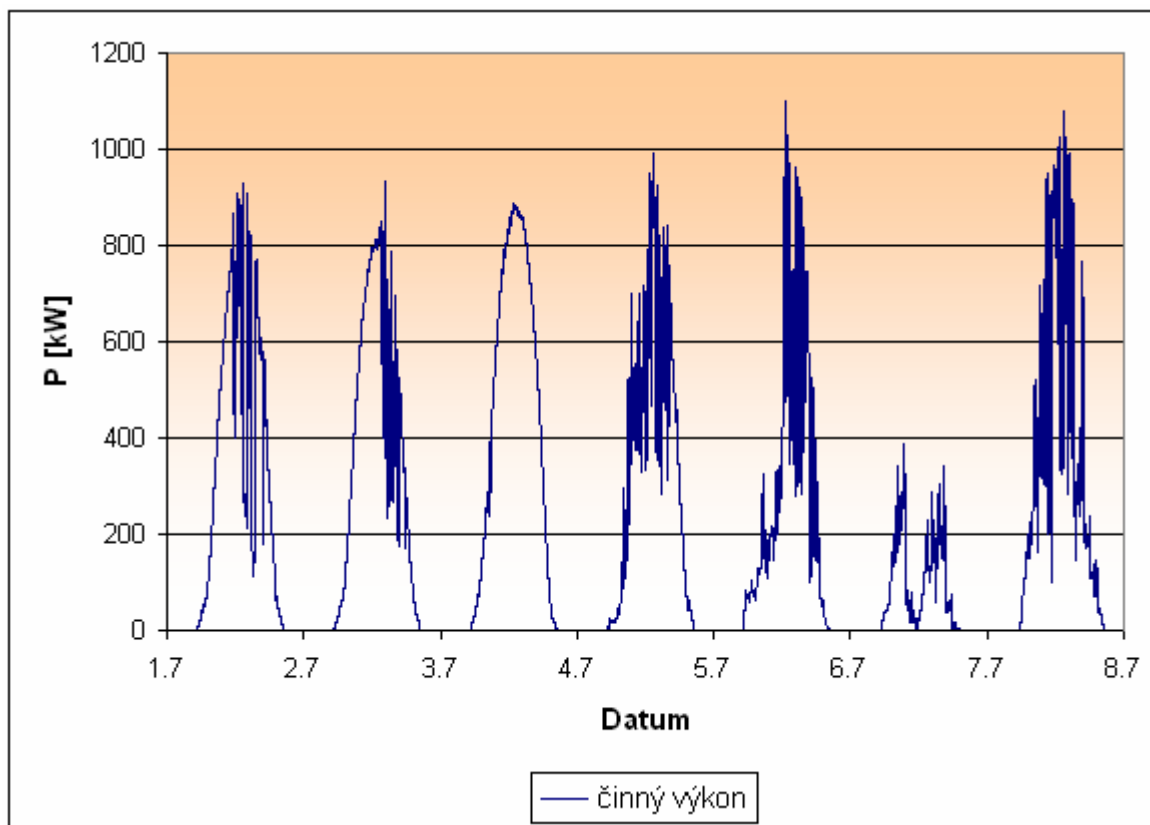
K vyhodnocení provozu FVE mi byly poskytnutá data z týdenního měření od 1. 7. 2010 do 8. 7. 2010. Pro zjištění, zda jsou při provozu této FVE splněny podmínky dané normou ČSN EN 50160 a Přílohou č.4 z PPDS, jsem provedl vyhodnocení dat naměřených během výše uvedeného týdenního intervalu.

Měření bylo provedeno pomocí síťového analyzátoru BK-ELCOM ENA 500, který byl umístěn v rozvaděči DTS (0,4/22 kV). Přes tuto DTS je FVE připojena k distribuční síti 22 kV.

Měřicím přístrojem byla importována data do textového souboru, která byla následně převedena do Excelu a v níže uvedených podkapitolách budou zobrazeny a popsány grafy z těchto dat.

6.2.1. Celkový činný výkon FVE

V grafu Graf 6.2.1.1 je zobrazena závislost celkového činného výkonu (všech tří fází) v závislosti na čase (resp. Datumu).



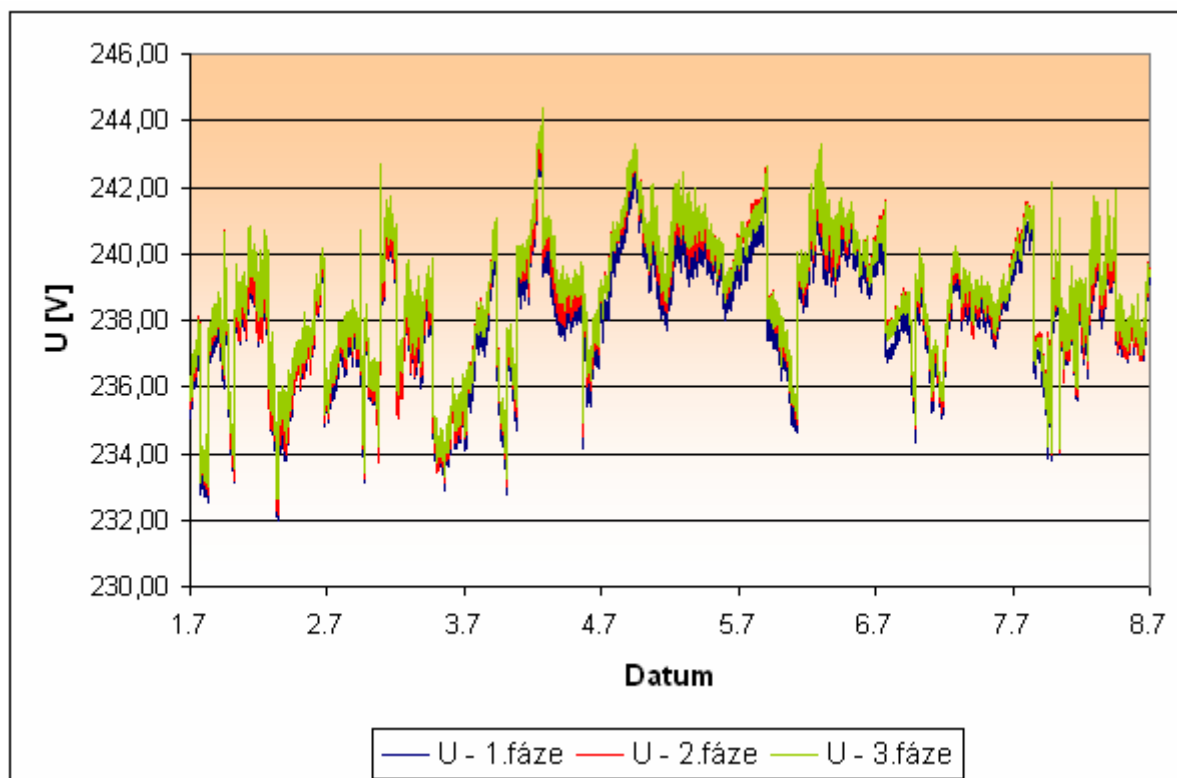
Graf 6.2.1.1 Celkový činný výkon vyrobený danou FVE v daném týdnu.

Z grafu Graf 6.2.1.1 je velmi dobře patrné, jaký činný výkon dodávala fotovoltaická elektrárna v jednotlivých dnech do sítě. Fotovoltaická elektrárna začala dodávat činný výkon do sítě přibližně od 5:20 a přestala dodávat přibližně v 20:10. Maximálního výkonu dosahovala elektrárna mezi 12:00 a 2:00 odpoledne. Dále je z grafu patrné, že až na 6. 7. 2010, což byl zřejmě den se zvětšenou oblačností, svítilo Slunce. To se dalo očekávat díky měření, které probíhalo v létě na začátku července. Dnem „bez mraků“ bych nazval den 3. 7. 2010, kdy vidíme naprosto hladkou křivku průběhu činného

výkonu. V tomto týdenním měření výkon dosahoval přibližně 950 kW až na výjimku, kdy dosáhl i 1023 kW.

6.2.2. Velikosti a odchylky napájecích napětí jednotlivých fází FVE

Podle normy ČSN EN 50160 by mělo být jmenovité napětí $U_n = 230\text{V}$ mezi fázovým a středním vodičem. To znamená, že každá fáze by měla mít napětí 230V, což podle grafu Graf 6.2.2.1 nemá. To ale nevadí, jelikož jsou stanoveny limitní hodnoty odchylky napájecího napětí, které také stanovuje norma ČSN EN 50160 a ty daná FVE splňuje.

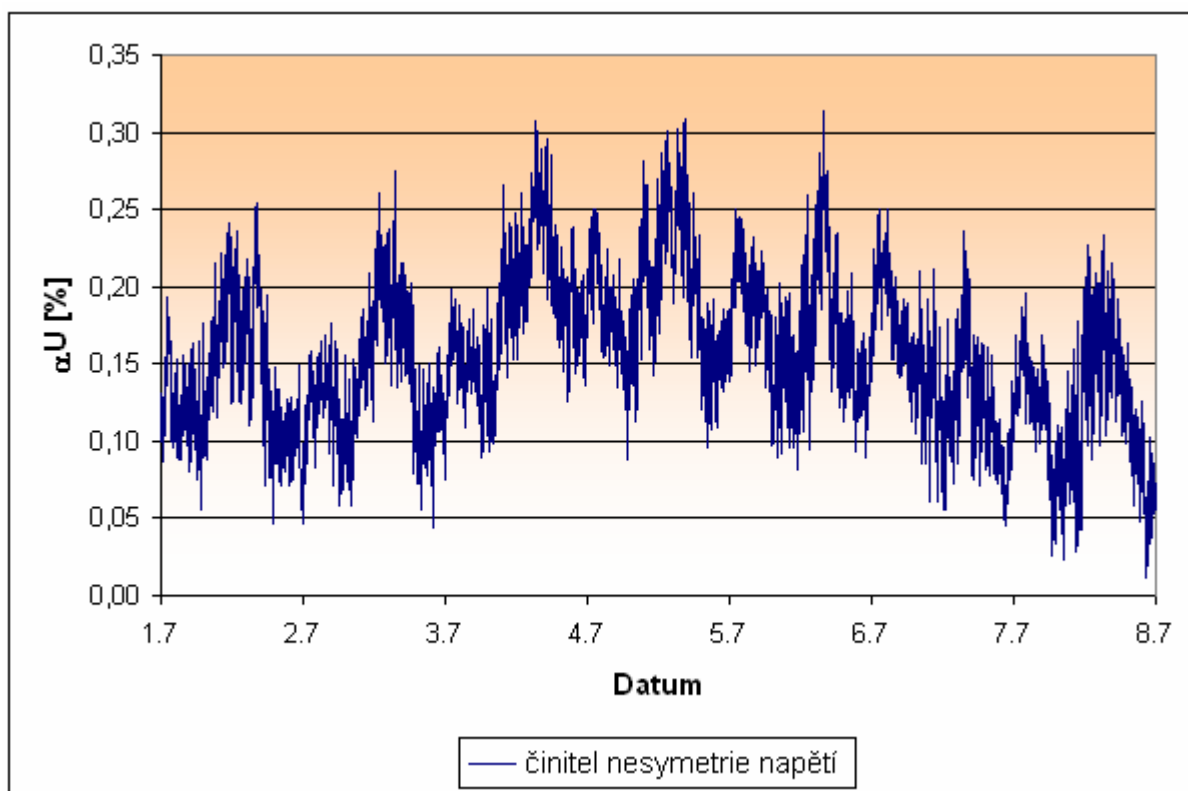


Graf 6.2.2.1 Velikosti napětí fází v měřeném týdnu.

V měřené fotovoltaické elektrárně se napětí jednotlivých fází pohybovalo přibližně od 232 do 244 V. Takže odchylka od jmenovitého napětí $U_n = 230\text{ V}$ byla maximálně 6,1 %. Tato odchylka je v mezích normy ČSN EN 50160, která stanovuje, že efektivní hodnota napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut nepřekročí U_n o víc než $\pm 10\%$. Podle přílohy č.4 PPDS nesmí být změna napětí ΔU větší než 3 %. Toto je taky splněno, protože „*změna napětí je rozdíl mezi efektivní hodnotou na začátku napěťové změny a následující efektivní hodnoty*“.[Příloha č.4 PPDS, r.2008, str.5] I když to na grafu nejde tolik vidět, tak největší změna byla z cca 238 na 242 V a tato změna odpovídala $\Delta U = 1,7\%$.

6.2.3. Nesymetrie napětí FVE

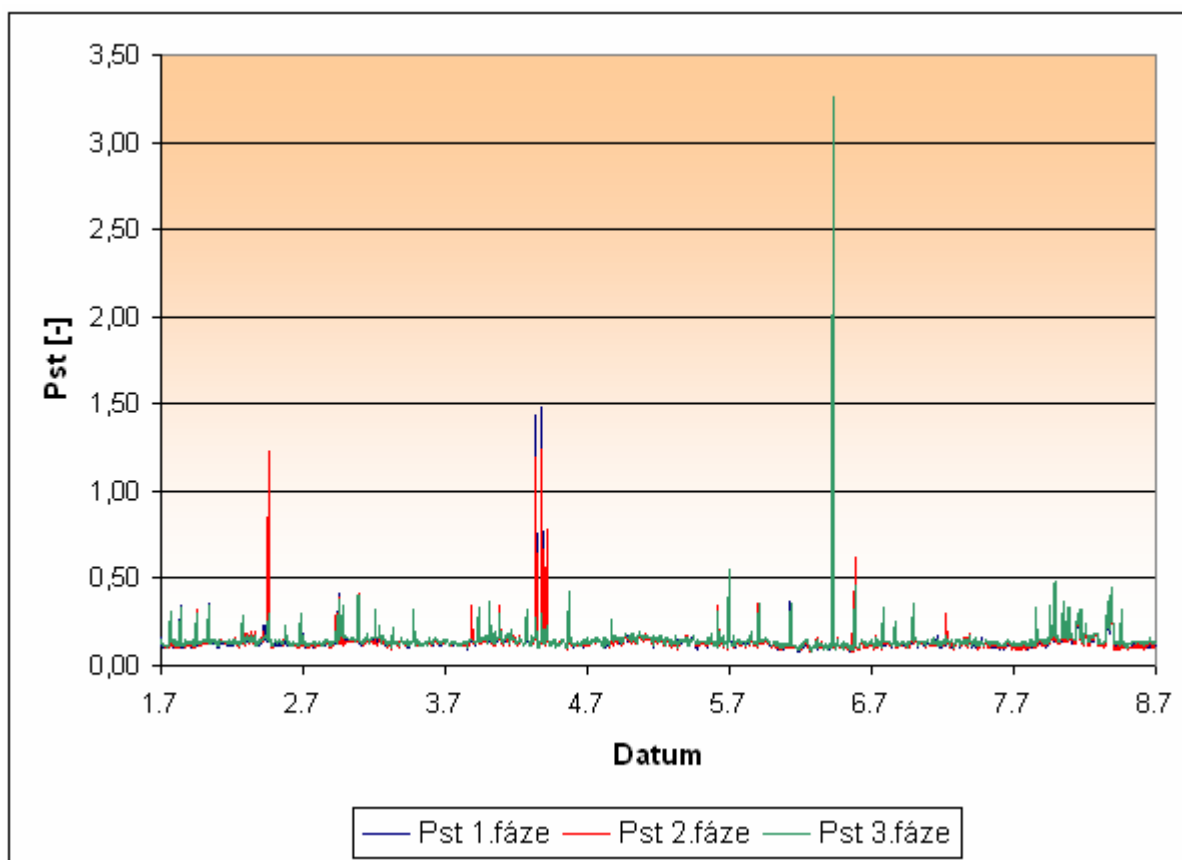
Níže uvedený graf Graf 6.2.3.1 je znázornění činitele nesymetrie napětí αU [%] v závislosti na čase (měřený týden). Nesymetrie v měřené FVE splňuje normu ČSN EN 50160. To vyplývá z grafu Graf 6.2.3.1, kde se činitel nesymetrie pohybuje od 0 do 0,35 % a norma ČSN EN 50160 stanovuje, že může dosahovat hodnot od 0 do 2 % ve výjimečných případech až do 3 %.



Graf 6.2.3.1 Závislost činitele nesymetrie napětí v % na čase v měřeném týdnu

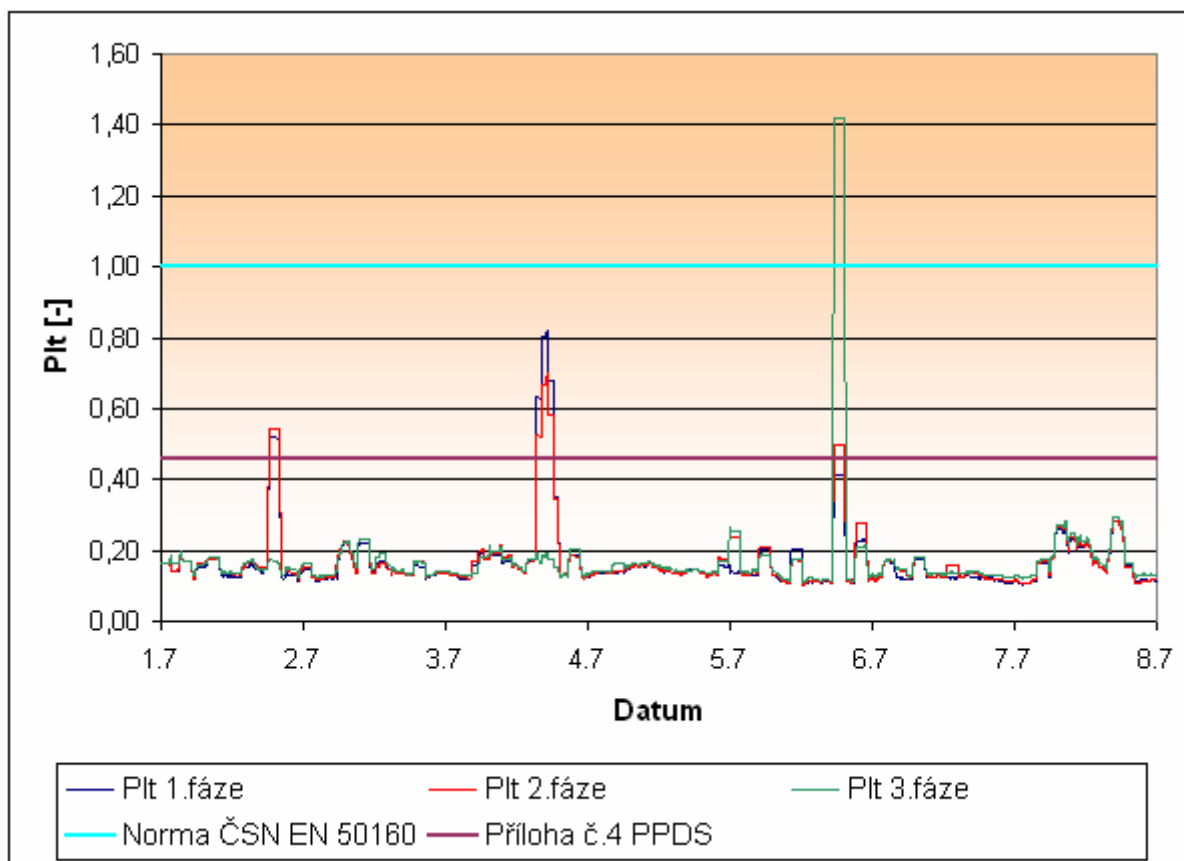
6.2.4. Míra vjemu flikru FVE

Míra vjemu flikru, tedy hlavně dlouhodobá míra vjemu flikru, je důležitým parametrem fotovoltaické elektrárny, který musí být splněn do daných limitních hodnot. Krátkodobá míra vjemu flikru nemá v Normě ČSN EN 50160 stanovené limitní hodnoty, ale je parametrem, ze kterého vyplývá dlouhodobá míra vjemu flikru. V normě ČSN EN 50160 doslova zní, že „*dlouhodobá míra vjemu (P_{lt}) je vypočtena z posloupnosti dvanácti hodnot P_{st} po dobu dvouhodinového intervalu...*“ [Norma ČSN EN 50160, r.2000, str.8]. Proto jsem si ji dovolil zobrazit v uvedeném grafu Graf 6.2.4.1. Další graf je již dlouhodobá míra vjemu flikru a pod ním se nachází posudek vztažený k normě ČSN EN 50160 a příloze č.4 PPDS, který tuto normu v daném bodě zpřísňuje.



Graf 6.2.4.1 Krátkodobá míra vjemu flikru v měřeném týdenním období

Lze vidět, že hodnota krátkodobého vjemu flikru dosáhla koncem dne 5. 7. 2010 přibližně $Pst = 3,3$. V ostatních dnech nedosahovala ani $Pst = 1,5$. Dá se předpokládat, a na níže uvedeném grafu Graf 6.2.4.2 je vidět, že hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru budou nižší.



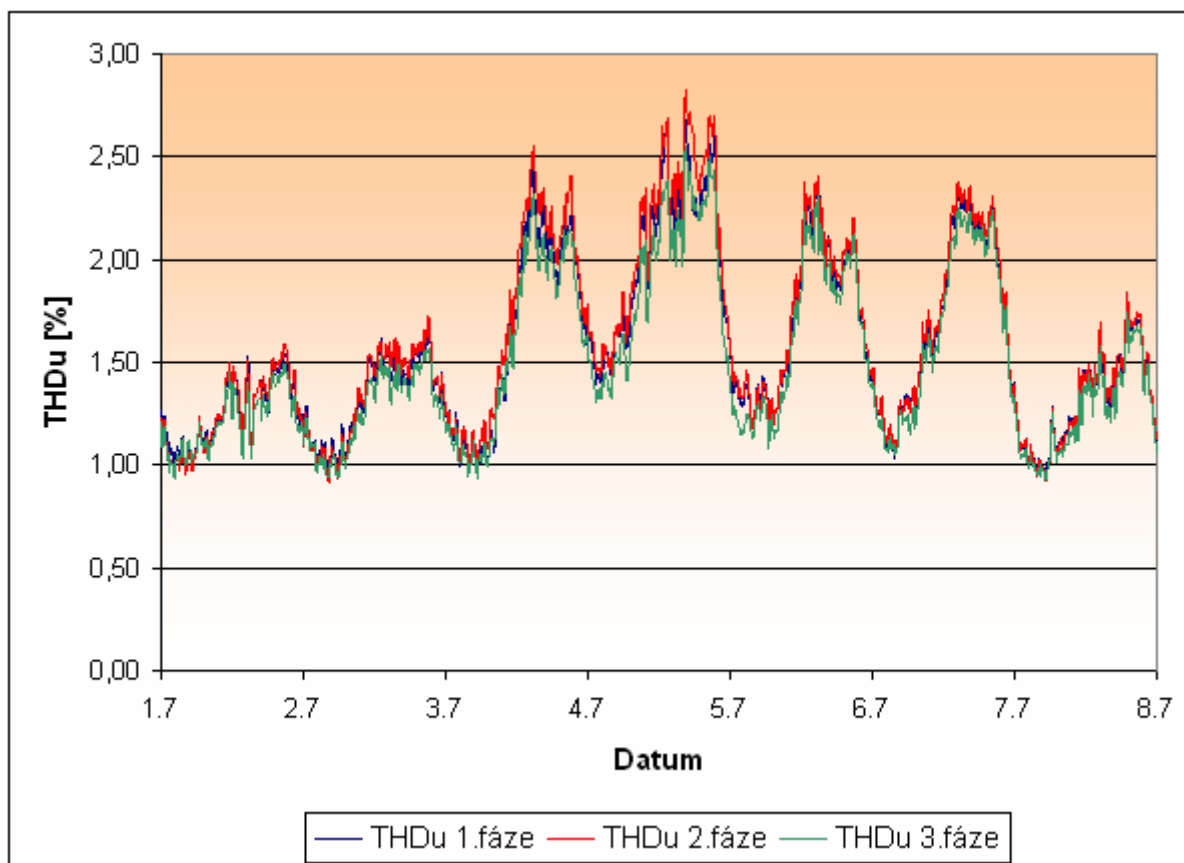
Graf 6.2.4.2 Dlouhodobá míra vjemu flikru v měřeném týdenním období.

Normou ČSN EN 50160 je stanovena limitní hodnota $Plt \leq 1$ za normálních provozních podmínek v týdenním období po dobu 95 % času. Z tohoto vyplývá, že i když se jednou, konkrétně 5. 7. 2010, hodnota dostala nad $Plt \leq 1$, tak je Plt podle normy v pořádku. Hodnota Plt byla překročena v 1,2 % času měřeného týdne, tedy v 98,8 % času měřeného týdne byla $Plt \leq 1$.

Ovšem Příloha č.4 PPDS zpřísňuje hranici dlouhodobé míry vjemu flikru na $Plt \leq 0,46$. Když se podíváme na výše uvedený graf, tak vidíme, že se přes tuto hranici dostala hodnota hned v několika dnech a v jednom dni, konkrétně 5. 7. 2010, dokonce víc než 3x. To ovšem neznamená, že tyto hodnoty Plt způsobuje fotovoltaická elektrárna. Může to být také síť, ke které je FVE připojena. Abychom odhalili na čí straně je vina, tak bychom museli provést další měření na rozvodně, ke které FVE náleží, a data porovnat. Když to shrneme, hodnota Plt je výrazně překročena, ale vzhledem k rozsahu měření není možné určit, zda za to může přímo fotovoltaická elektrárna.

6.2.5. Harmonická napětí FVE

Aby FVE splňovala normu ČSN EN 50160, musí být hodnoty napětí jednotlivých harmonických v povolených mezích normy, které jsou uvedeny v tabulce Tab 5.4.10.1. Poskytnutá naměřená data pro vyhodnocení tuto informaci neměli, ale místo toho měli hodnoty celkového činitele zkreslení napětí pro jednotlivé fáze. Díky tomu jsem vykreslil graf Graf 6.2.5.1 a pod něj napsal proč FVE splňuje Normu ČSN EN 50160.



Graf 6.2.5.1 Celkový činitel zkreslení napájecího napětí v průběhu měřeného týdne.

Z tohoto grafu vyplývá, že hodnota THDu se pohybovala cca od 1 do 2,7 %. Norma ČSN EN 50160 stanovuje hranici THD napájecího napětí na 8 %. Těto hodnoty FVE ani zdaleka nedosahovalo, proto splňuje i tuto normu.

6.3. Shrnutí měřených a řešených parametrů FVE

Cílem měření a následného vyhodnocení naměřených dat bylo zjistit, zda vybraná FVE nezatěžuje distribuční síť nežádoucími zpětnými vlivy.

Naměřené hodnoty i grafické závislosti byly řešeny a porovnány s limitními hodnotami normy ČSN EN 50160 a Přílohy č.4 PPDS.

Řešená fotovoltaická elektrárna splňuje normu ČSN EN 50160 ve všech výše řešených bodech a Přílohu č.4 PPDS také, a to i při výše uvedeném překročení limitních hodnot dlouhodobé míry vjemu flikru, protože nelze určit, zda za velikost těchto hodnot může samotná FVE nebo distribuční síť, na kterou je FVE připojena.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení s využitím solární energie. Tedy jak lze využít energii dopadající ze Slunce na naši planetu. V první části jsem se snažil čtenáře seznámit s touto energií a faktory pro její využití. V dalších částech jsem už podrobněji řešil přeměnu solární energie v teplo a elektřinu, přičemž u výroby elektřiny došlo hned po popsání jednotlivých prvků v systému k rozdělení na dva systémy a to na on-grid a off-grid, tedy fotovoltaický systém připojený na distribuční síť a ostrovní fotovoltaický systém. U systému připojeného na distribuční síť jsem řešil hlavně legislativu a podmínky pro připojení FVE na DS na rozdíl od ostrovního systému, kde jsem popsal jednotlivé části zařízení potřebné k provozu.

Podmínky pro připojení FVE na DS měly další a hlavní uplatnění v praktické části, kde jsem řešil zpětné vlivy zadané konkrétní fotovoltaické elektrárny připojené na síť. K tomu mi byla poskytnuta již naměřená data, která jsem zpracoval a zhodnotil pomocí mnou vypsanych již výše zmíněných podmínek pro připojení. Tyto podmínky byly vypsány z normy ČSN EN 50160 a z Přílohy č.4 PPDS.

O dané FVE se dá říct, že splňuje podmínky i přesto, že limitní hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru byly podle Přílohy č.4 PPDS překročeny. Nelze totiž určit na základě naměřených a mi poskytnutých dat, jestli může za překročení limitních hodnot fotovoltaická elektrárna nebo distribuční síť, na kterou je FVE připojená. Abychom mohli odhalit problém, museli bychom provést další měření.

8. Použitá literatura

Knihy:

- [1] BERANOVSKÝ J., TURXA J., a kolektiv, *Alternativní energie pro váš dům*. 1.vyd. Brno: ERA group spol. s r. o., 2003. 123s. ISBN: 80-86517-59-4
- [2] Doc. RNDr. CENKA M., a tým autorů, *Obnovitelné zdroje energie*. 2. vyd. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2001. 208s. ISBN: 80-901985-8-9
- [3] HASELHUHN R., *Fotovoltaika. Budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2010. 176s. ISBN: 978-80-86167-33-6
- [4] MURTINGER K., BERANOVSKÝ J., TOMEŠ M., *Fotovoltaika. Elektrina ze slunce*. 2.vyd. Brno: ERA group spol. s r. o., 2008. 81s. ISBN: 978-80-7366-133-5
- [5] MURTINGER K., TRUXA J., *Solární energie pro váš dům*. 1.vyd. Brno: Computer Press, 2010. 99s. ISBN: 978-80-251-3241-8

Konference:

- [6] Konference ČK CIRED, POSPÍŠIL J., TUČEK P., Protection & Consulting, s.r.o, *Vybrané problémy z připojování fotovoltaických zdrojů FVE do sítě vn*, 2008. 11s, Dostupný z WWW: <http://www.litovany.ic.cz/index_soubory/down/s4_10_08.pdf>
- [7] Tisková konference ČSRES, *Rozvoj OZE a jeho dopady*, 1.7.2010, prezentace dostupná ke stažení na WWW: <<http://www.mesec.cz/clanky/skonci-dohady-o-zdrazeni-elektriny-pred-ustavnim-soudem/>>

Normy:

- [8] Norma ČSN EN 50160, Český normalizovaný institut, r.2000. 18s

Internet:

- [9] bestservis.cz, Bestservis, [online]. [cit.2010-12-09] Dostupný z WWW: <<http://www.bestservis.cz/fotovoltaika.htm>>
- [10] cez.cz, SKUPINA ČEZ, [online]. 2011 [cit.2010-11-16] Dostupný z WWW: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k13.htm>>
- [11] cezdistribuce.cz, ČEZ DISTRIBUCE, [online]. 20011 [cit.2011-03-01] Dostupný z WWW: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds_priloha_4_2009.pdf>

- [12] czrea.org, Česká agentura pro obnovitelné zdroje, [online]. [cit.2011-03-11] Dostupný z WWW: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>>
- [13] ekowatt.cz, EkoWATT centrum pro obnovitelné zdroje a úsporu energie, [online]. 2008 [cit.2010-11-14] Dostupný z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---slunecni-teplo-ohrev-vody-a-vzduchu>>
- [14] elektrarny-online.cz, Elektrárny Online, [online]. 2011 [cit.2011-03-13] Dostupný z WWW: <<http://www.elektrarny-online.cz/uspora-a-vydelek/zeleny-bonus-a-vykupni-cena/>>
- [15] energetika.cz, ENERGETIKA Vše co chcete vědět o energii, ale bojíte se zeptat, [online]. [cit.2010-11-20] Dostupný z WWW: <<http://www.energetika.cz/index.php?id=135>>
- [16] eru.cz, Energetický regulační úřad, [online]. 2009 [cit.2011-03-13] Dostupný z WWW: <http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2_2010_OZE-KVET-DZ%20final.pdf>
- [17] eru.cz, Energetický regulační úřad, [online]. 2009 [cit.2011-03-15] Dostupný z WWW: <<http://www.eru.cz/>>
- [18] fitcraftproduction.cz, FitCraft Production a.s., [online]. 2009 [cit.2011-04-11] Dostupný z WWW: <<http://www.fitcraftproduction.cz/soubory/file109.pdf>>
- [19] fitcraftproduction.cz, FitCraft Production a.s., [online]. 2009 [cit.2011-04-11] Dostupný z WWW: <<http://www.fitcraftproduction.cz/?clanek=17>>
- [20] fotovoltaicke/solarni/elektrarnz.com, Fotovoltaické solární elektrárny, [online]. [cit.2011-01-17] Dostupné z WWW: <<http://www.fotovoltaicke-solarni-elektrarny.com/legislativa/>>
- [21] i-ekis.cz, Internetové energetické konsultační a informační středisko ČEA, [online]. 2001-2008 [cit.2010-10-26] Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-teplo>>
- [22] i-ekis.cz, Internetové energetické konsultační a informační středisko ČEA, [online]. 2001-2008 [cit.2010-11-28] Dostupný z WWW: <<http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>>
- [23] mesec.cz, Měsíc – Průvodce finančním světem, [online]. 1998-2011 [cit.2011-03-15] Dostupný z WWW: <<http://www.mesec.cz/clanky/skonci-dohady-o-zdrazeni-elektriny-pred-ustavnim-soudem/>>
- [24] portal.gov.cz, Portál veřejné zprávy ČR, [online]. [cit.2011-03-01] Dostupné z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701/_s.155/699/place>
- [25] sany.cz, SANY s.r.o., [online]. [cit.2011-03-11] Dostupný z WWW: <<http://www.sany.cz/www/elektrina-ze-slunce/regulatory-nabijeni/>>
- [26] solarni-energie.info, Solární energie – info, [online]. [cit.2010-11-14] Dostupný z WWW: <<http://www.solarni-energie.info/vyhody.php>>
- [27] solarnistavebnice.cz, Solární stavebnice, [online]. 2010 [cit.2011-01-17] Dostupné z WWW: <<http://www.solarnistavebnice.cz/obsah.jsp?n=Legislativa-a-dane&dyid=9>>